



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING TESTING

METODIKA HODNOCENÍ STAVU DŘEVA POMOCÍ MĚŘENÍ MECHANICKÉHO ODPORU PŘI ZATLAČOVÁNÍ TRNU

Procedure of assessment of the wood state by the wood mechanical resistance measuring
within pushing a pin

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. KATEŘINA DAŇKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. VĚRA HEŘMÁNKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav stavebního zkušebnictví

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Kateřina Daňková
Název	Metodika hodnocení stavu dřeva pomocí měření mechanického odporu při zatlačování trnu
Vedoucí diplomové práce	Ing. Věra Heřmánková, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2011
Datum odevzdání diplomové práce	13. 1. 2012
V Brně dne 31. 3. 2011	

.....
prof. Ing. Leonard Hobst, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- Kloiber, M., Kotlíková, M., Tippner, J.,: Odhad vlastností dřeva pomocí zatlačování trnu s různým tvarem penetračního hrotu
- KUKLÍK, P.,: Stanovení vlastností konstrukčního dřeva. In: Stanovení vlastností materiálů při hodnocení existujících konstrukcí
- ČSN EN 408 Dřevěné konstrukce - Konstrukční dřevo a lepené lamelové dřevo - Stanovení některých fyzikálních a mechanických vlastností
- ČSN 49 0108 Drevo. Zisťovanie hustoty
- ČSN 49 0110 Drevo. Medza pevnosti v tlaku v smere vlákien
- ČSN 49 0111 Skúšky vlastností rastlého dreva. Metóda zisťovania modulu pružnosti v tlaku pozdĺž vlákien
- ČSN 49 0012 Drevo. Fyzikálne a mechanické skúšky. Názvy a definície

Zásady pro vypracování

Teoretická část:

Rešerše literatury.

Praktická část:

Měření mechanického odporu dřeva při kontinuálním zatlačování trnu.

Zjištění vlastností dřeva standardními nedestruktivními metodami.

Stanovení zastoupení letního dřeva a hustoty v měřených úsecích.

Provedení normové zkoušky pevnosti v tlaku napříč vláken.

Statistické vyhodnocení jednotlivých NDT měření dřeva a následné porovnání s fyzikálními a mechanickými vlastnostmi dřeva.

Vytvoření metodiky hodnocení stavu dřeva pomocí měření mechanického odporu při zatlačování trnu.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....
 Ing. Věra Heřmánková, Ph.D.
 Vedoucí diplomové práce

METODIKA HODNOCENÍ STAVU DŘEVA POMOCÍ MĚŘENÍ MECHANICKÉHO ODPORU PŘI ZATLAČOVÁNÍ TRNU

Abstrakt

Hlavním cílem diplomové práce je získat přehled o diagnostických metodách používaných při průzkumech dřevěných konstrukcích, porovnání výsledků experimentálního hodnocení stavu dřeva pomocí diagnostických metod, které jsou založeny na měření mechanického odporu dřeva. Součástí práce je také podrobný stavebně – technický průzkum krovu historického objektu v Šardicích.

Klíčová slova

Dřevo, struktura dřeva, fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva, diagnostické metody, dendrochronologie, mechanické vlastnosti, odporové zarážení trnu, zatlačování trnu, vytahování vrutu, stavební průzkum, krov, statické posouzení

Abstract

The main aim of the thesis is to gain an overview of diagnostic methods used in surveys of wooden structures, comparing the results of experimental evaluation of state timber using diagnostic methods that are based on measurements of the mechanical resistance of the wood. Detailed constructional - technical survey of the truss of the historic building in Šardice is also the part of this thesis.

Keywords

Wood, wood structure, physical and mechanical properties of wood, diagnostic methods, dendrochronology, mechanical properties, resistance driving of the mandrel, the mandrel pushing, pulling screw, building survey, roof, structural assessment.

Bibliografická citace VŠKP

DAŇKOVÁ, Kateřina, Bc. *Metodika hodnocení stavu dřeva pomocí měření mechanického odporu při zatlačování trnu : diplomová práce*. Brno, 2012. 141 s., 66 s. příl. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí diplomové práce byla Ing. Věra Heřmánková, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: „Metodika hodnocení stavu dřeva pomocí měření mechanického odporu při zatlačování trnu“ vypracovala samostatně, pod vedením vedoucí diplomové práce a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....

Kateřina Daňková

Poděkování:

Děkuji své vedoucí Ing. Věře Heřmánkové, Ph.D. za pomoc, ochotu, cenné rady a odborné vedení při zpracování této diplomové práce. Dále bych ráda poděkovala Ing. Michalu Kloibrovi, Ph.D. za vstřícnost, poskytnuté informace a technické zázemí na MZLU. Mé poděkování rovněž patří Ing. Tomášovi Kolářovi a Ing. Michalu Rybníčkoví, Ph.D., za jejich cenné rady. Na tomto místě bych také ráda poděkovala rodičům, mému drahému manželovi a naší Klárce za jejich trpělivost a maximální podporu v průběhu mého magisterského studia.

OBSAH

ÚVOD	9
CÍL PRÁCE	10
1 STRUKTURA A VLASTNOSTI DŘEVA	11
1.1 Stavba dřeva	11
1.2 Druhy dřevin	13
1.3 Vlastnosti dřeva	14
1.3.1 Fyzikální vlastnosti dřeva	14
1.3.2 Mechanické vlastnosti dřeva	19
1.4 Vady a škůdci dřeva	22
1.5 Ochrana dřeva	25
1.5.1 Ochrana dřeva proti biologickému napadení	25
1.5.2 Ochrana proti požáru	26
2 DIAGNOSTICKÉ METODY	27
2.1 Úvod	27
2.2 Měření vlhkosti	28
2.3 Nedestruktivní diagnostické metody	29
2.3.1 Vizuální hodnocení	29
2.3.2 Měření šíření UZ vln	30
2.3.3 Radiační diagnostické metody	31
2.4 Semi-destruktivní diagnostické metody	32
2.4.1 Odporové zarážení trnu	32
2.4.2 Odporové mikrovrtání	33
2.4.3 Odporové zatlačování trnu	35
2.4.4 Vytahování vrutu	36
2.4.5 Zkoušení tahových mikrovzorků	37
2.4.6 Endoskopie	38
2.5 Destruktivní diagnostické metody	39
2.5.1 Odběr vzorků pro laboratorní zkoušky	39
2.6 Dendrochronologie	40

3	METODIKA HODNOCENÍ STAVU DŘEVA POMOCÍ MĚŘENÍ MECHANICKÉHO ODPORU PŘI ZATLAČOVÁNÍ TRNU	41
3.1	Materiál a příprava vzorků	41
3.2	Diagnostické metody	42
3.2.1	Oporové zarážení trnu	42
3.2.2	Oporové zatlačování trnu a vytahování vrutu	44
3.2.3	Dendrochronologické měření vzorků	46
3.2.4	Zkouška pro stanovení hustoty dřeva (ČSN 49 0108)	49
3.2.5	Zkouška pro stanovení pevnosti dřeva v tlaku napříč vláken (ČSN 49 0112).....	50
3.3	Vyhodnocení výsledků měření	52
4	STAVEBNĚ TECHNICKÝ PRŮZKUM HAMBALKOVÉHO KROVU BAROKNÍ REZIDENCE V ŠARDICÍCH	55
4.1	Základní informace o objektu	55
4.2	Stavebně – technický průzkum	56
4.3	Zjištěné vady a poruchy	61
4.4	Zhodnocení stavebně-technického stavu krovu	63
4.5	Statické posouzení konstrukčního prvku hambalkového krovu	65
	ZÁVĚR	69
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	70
	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	72
	SEZNAM TABULEK	75
	SEZNAM PŘÍLOH	76

ÚVOD

Dochované historické dřevěné konstrukce krovů jsou dokladem řemeslné dovednosti a tvoří tak významný podíl na našem kulturním dědictví. Proto je důležité zabývat se jejich nejvyšší možnou ochranou, která je současně podmíněna minimálními zásahy do původní konstrukce. Diagnostické metody používané při průzkumech dřevěných konstrukcí vhodným způsobem doplňují vizuální průzkum konstrukce, který je jinak velmi subjektivní a pro statické posouzení většinou nedostačující. Vizuálně lze odhalit biotická i mechanická povrchová poškození, ale pro zjištění vnitřního poškození je lépe využít moderní diagnostické přístroje. Jejich jednoduchá obsluha a šetrnost k původnímu materiálu je mnohdy velkou výhodou zejména u památkově hodnotných konstrukcí.

CÍL PRÁCE

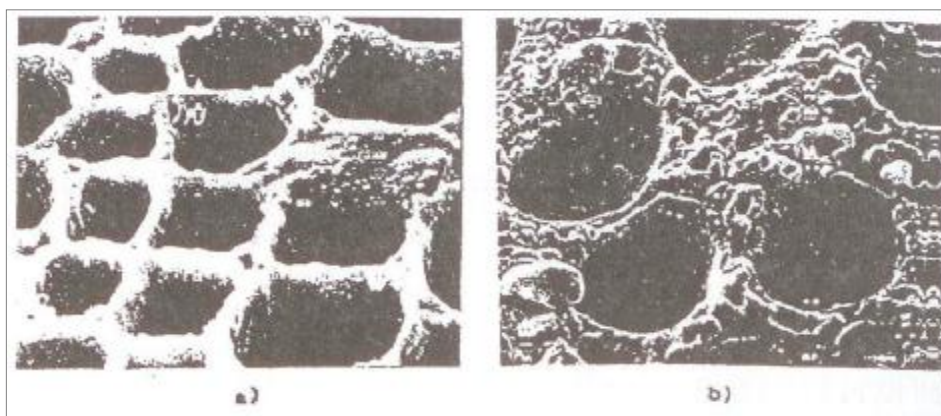
Hlavním cílem diplomové práce je získat přehled o struktuře a vlastnostech dřeva, jeho vadách, škůdcích a jejich ochraně. Práce je doplněna o přehled diagnostických metod používaných při průzkumech dřevěných konstrukcích. V experimentální části jsou porovnány výsledky měření pomocí nové diagnostické metody zatlačování trnu a vytahování vrutu s výsledky získanými standardními diagnostickými metodami. Součástí práce je stavebně technický průzkum krovu historické budovy v Šardicích, zakreslení porušených prvků a návrh konstrukčního zajištění a ochrany krovu.

1. STRUKTURA A VLASTNOSTI DŘEVA

1.1 STAVBA DŘEVA [1],[12],[15]

Dřevo lze charakterizovat jako organický, nehomogenní, anizotropní a hygroskopický materiál. Zmíněné vlastnosti jsou důsledkem jeho mikroskopické a makroskopické stavby.

Předmětem popisu **mikroskopické stavby dřeva** jsou rozměry, uspořádání a složení buněk. Charakteristickým skladebným prvkem jehličnatých dřevin jsou tracheidy, které tvoří až 95% objemu dřevní hmoty, u jehličnatých dřevin jsou to hydrocyty, které tvoří až 75% objemu dřevní hmoty (**Obr. 1-1**). Dalším skladebným prvkem jsou dřeňové paprsky – pletiva, která se skládají z převážně horizontálně uspořádaných buněk.



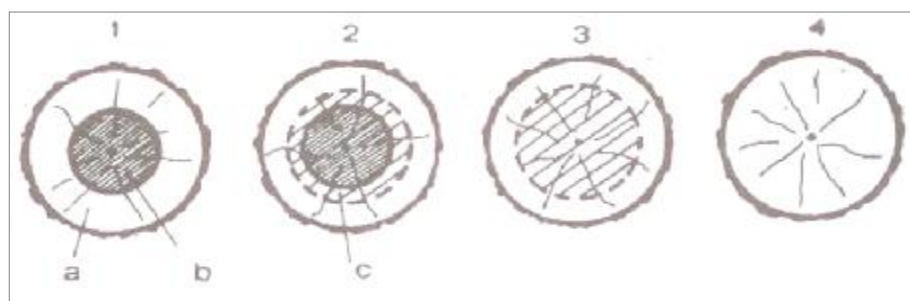
Obr. 1-1 Uspořádání buněk dřevní hmoty v měřítku 5000:1;
a) tracheidy (smrk), b) hydrocyty (buk) [1]

Předmětem **makroskopické stavby dřeva** je struktura dřeva viditelná pouhým okem (**Obr. 1-2**). Tato stavba je významným prvkem určování dřeva, rozlišení vad, jakostního třídění dřeva a má vliv na vlastnosti dřeva, zejména mechanické a fyzikální a na zpracování dřeva.

Strukturními útvary makroskopické stavby jsou především následující prvky:

- letokruhy – přírůstky dřeva vytvořené v našich podmínkách během jednoho vegetačního období,
- jarní (ranné) dřevo – vnitřní část letokruhu, která vzniká z počátku nebo v průběhu první poloviny vegetačního období; je světlé barvy a měkčí,

- letní dřevo – vnější část letokruhu; vzniká během vegetačního období až do jeho konce; je tmavší, těžší a tvrdší než dřevo jarní,
- běl – světlejší obvodová část dřeva kmene v případě, že je vytvořeno jádro,
- vyzrálé dřevo – centrální část kmene některých dřevin; od běle není barevně odlišeno, má však nižší vlhkost než běl,
- suky – zbytky po živých či odumřelých větvích,
- dřevné paprsky – soubory buněk, které probíhají radiálním směrem od dřene ke kůře; šířka, výška a rozložení paprsků na jednotlivých řezech je spolehlivým diagnostickým prvkem,
- pryskyřičné kanálky – na příčném řezu viditelné jako malé tečky, obvykle tmavší; vyskytují se především u jehličnatého dřeva,
- cévy – na příčném řezu viditelné jako póry; typické elementy listnatého dřeva.



Obr. 1-2 Schématické znázornění makroskopické stavby dřeva na příčném řezu. 1 – dřevo s jádrem a bělí, 2 – dřevo s jádrem, vyzrálým dřevem a bělí, 3 – dřevo s vyzrálým dřevem a bělí, 4 – dřevo bělové; a – běl, b – jádro, c- schematicky vyznačené vyzrálé dřevo [1]

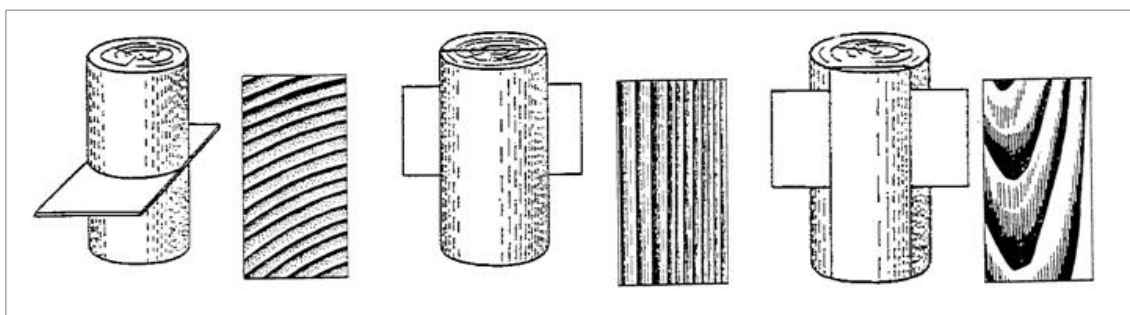
Umístění těchto prvků a jejich uspořádání v kmenu má válcovitě-kuželovitou stavbu, která se posuzuje ve třech základních řezech a směrech:

- **příčný (transverzální) řez** – je kolmý k ose kmene a je charakteristický soustředným uspořádáním letokruhů,
- **podélný radiální (středový) řez** – je veden v rovině rovnoběžné s osou kmene a prochází jeho středem,
- **podélný tečnový (tangenciální) řez** – je veden v rovině rovnoběžné k ose kmene v určité vzdálenosti od středu kmene.

Příčný řez

Radiální řez

Tangenciální řez



Obr. 1-3 Základní řezy dřevem (příčný, radiální, tangenciální)[15]

Při zjišťování vlastností dřeva je třeba vždy respektovat jednotlivé roviny (směry). Proto se u všech vlastností dřeva uvádí směr, pro který daná hodnota vlastnosti byla zjištěna.

1.2 DRUHY DŘEVIN [1]

Zdrojem dřeva jsou převážně dřeviny rostoucí na lesní půdě. Česká republika patří mezi státy s poměrně vysokým procentem zalesněného území – cca 35 %.

Dřeviny se rozdělují do 2 skupin – jehličnaté a listnaté. Zastoupení jednotlivých druhů dřevin v lesních porostech v České republice je uvedeno v **Tab. 1-1**.

Tab. 1-1 Zastoupení jednotlivých druhů dřevin v lesních porostech ČR[1]

Dřeviny	Jednotlivý druh	Procentuální podíl	
		Jednotlivě	Celkově
Jehličnaté	smrk	52,1	76,1
	borovice	15,1	
	jedle	7,5	
	modřín	1,3	
	ostatní	0,1	
Listnaté	buk	13,8	23,9
	dub	4,2	
	topol	1,2	
	ostatní	4,7	

1.3 VLASTNOSTI DŘEVA

1.3.1 Fyzikální vlastnosti dřeva [2], [3], [4], [10], [12], [14]

- **Hustota dřevní hmoty**

Hustota dřevní hmoty je stejná pro všechny dřeviny, činí přibližně 1500 kg.m^{-3} . Tato hodnota odpovídá hustotě hlavních složek dřeva, celulózy (s hustotou 1580 kg.m^{-3}) a ligninu (hustota 1400 kg.m^{-3}).

- **Objemová hmotnost dřeva**

Objemová hmotnost dřeva závisí na druhu dřeva a jeho vlhkosti, s rostoucí vlhkostí vzrůstá. V suchém stavu se u běžných dřevin pohybuje od 400 do 700 kg.m^{-3} . Rozdělení dřevin podle objemové hmotnosti je uvedeno v **Tab. 1-2**.

Tab. 1-2 Rozdělení dřevin podle objemové hmotnosti v suchém stavu [14]

Objemová hmotnost sušiny	Příklad dřevin
do 400 kg.m^{-3}	vejmutovka, topol
$400 - 500 \text{ kg.m}^{-3}$	jedle, smrk, borovice
$500 - 600 \text{ kg.m}^{-3}$	vrba, modřín, mahagon
$600 - 700 \text{ kg.m}^{-3}$	bříza, jasan, dub, buk
$700 - 1000 \text{ kg.m}^{-3}$	akát, habr
nad 1000 kg.m^{-3}	eben

Rozlišujeme tři následující vlhkostní stavy dřeva:

- objemová hmotnost dřeva v suchém stavu ($w = 0 \%$)
- objemová hmotnost dřeva s přirozenou vlhkostí w ($w > 0 \%$)
- objemová hmotnost hustota dřeva při vlhkosti 12%

Pod absolutně suchým stavem rozumíme 0% vlhkost dřeva a hustota se vypočte ze vztahu:

$$r_0 = \frac{m_0}{V_0}, \quad \text{kde: } m_0 - \text{hmotnost zcela vysušeného vzorku dřeva (kg)}$$

$$V_0 - \text{objem zcela vysušeného vzorku dřeva (m}^3\text{)}.$$

Hustota ρ_w dřeva s přirozenou vlhkostí je charakterizována podílem hmotnosti a objemu dřeva při určité vlhkosti:

$$r_w = \frac{m_w}{V_w}, \quad \text{kde: } m_w - \text{hmotnost vzorku dřeva při vlhkosti } W \text{ (kg)}$$

$$V_w - \text{objem vzorku dřeva při vlhkosti } W \text{ (m}^3\text{)}.$$

Hustota dřeva při 12% vlhkosti je speciálním případem. Vlhkosti je dosaženo dlouhodobějším vystavením dřeva běžným podmínkám temperované místnosti ($T = 20^\circ\text{C}$, $\varphi = 65\%$).

$$r_{12} = \frac{m_{12}}{V_{12}}, \quad \text{kde: } m_w - \text{hmotnost vzorku dřeva při vlhkosti 12\% (kg)}$$

$$V_w - \text{objem vzorku dřeva při vlhkosti 12\% (m}^3\text{)}.$$

• Vlhkost

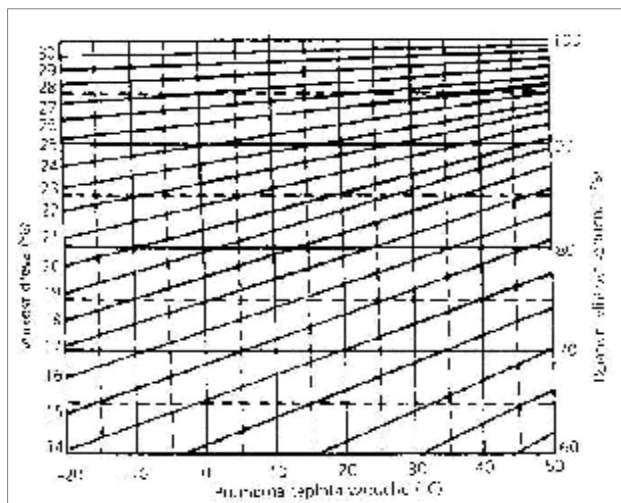
Vlhkost je podle ČSN EN 844-4 definována jako hmotnost vody ve dřevě, vyjádřená v procentech hmotnosti absolutně suchého dřeva. Absolutně suché dřevo se podle této normy získá sušením dřeva do konstantní hmotnosti při $103 \pm 2^\circ\text{C}$ v odvětrané sušárně.

Vlhkost dřeva se stanoví dle vztahu:

$$w_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100 \quad \text{kde: } m_1 - \text{hmotnost vzorku dřeva ve stavu vlhkém (g)}$$

$$m_2 - \text{hmotnost vzorku dřeva po vysušení (g)}$$

Vlhkost přirozeně vyschlého dřeva se mění v závislosti na teplotě a vlhkosti vzduchu. Čerstvě poražené dřevo má vlhkost 40 až 170%, dřevo proschlé na vzduchu, jehož vlhkost je v rovnováze s přirozenými atmosférickými podmínkami okolí, má obvykle vlhkost nižší než 20 %. Časem nastává mezi vlhkostí dřeva a teplotou rovnovážný stav (**Obr. 1-3**).

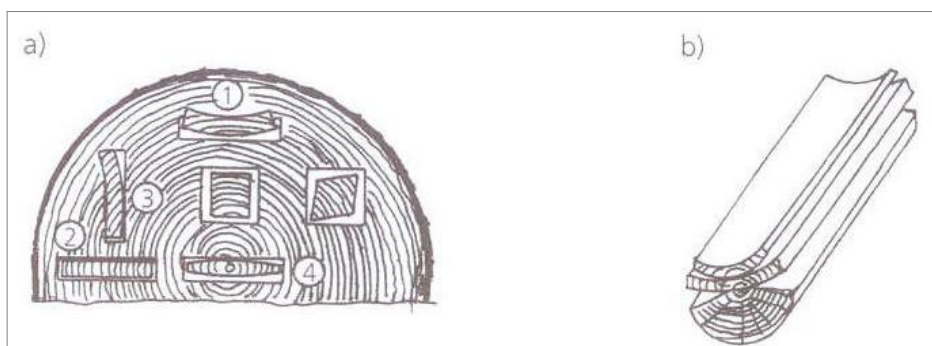


Obr. 1-4 Rovnovážný stav vlhkosti dřeva [14]

- **Objemové změny**

Pro technologické zpracování dřeva je důležité **sesychání** a **bobtnání** dřeva. Sesychání definuje norma ČSN EN 844-4 jako zmenšování rozměrů dřeva způsobené snižováním jeho vlhkosti, bobtnání je proces opačný. Sesycháním / bobtnáním se mění rozměry a tudíž i objem a plocha dřeva a je nutno s tím při zpracování dřeva počítat. Změny rozměrů závisí mimo jiné na způsobu a rychlosti vysoušení.

Dřevo sesychá / bobtná jinak ve směru vláken, jinak v radiálním směru a jinak v tangenciálním směru. Absolutně vysušené dřevo seschne v axiálním směru o 0,05 až 0,07% (průměrně o 0,2%), v radiálním směru o 2,2 až 8,5% (průměrně 5%), ve směru tangenciálním o 3 až 16% (nejčastěji kolem 15%), ve svém objemu o 5 až 21%.



Obr. 1-5 Tvarové změny prvků: a) způsobené sesycháním, b) způsobené kroucením při vysychání; 1 – tangenciální, 2 – radiální, 3 – mezilehlé, 4 – dřevové[14]

Toto nestejněměrné sesychání způsobuje tvarové změny. Objemové změny vlivem vlhkosti jsou pro jednotlivé dřeviny vyjadřovány pomocí součinitele vlhkostní deformace α . Některé hodnoty součinitele vlhkostní deformace jsou uvedeny v **Tab. 1-3**.

Tab. 1-3 Hodnoty součinitele vlhkostní deformace při změně vlhkosti dřeva o 1% [14]

Dřeviny	Součinitel vlhkostní deformace α		
	Kolmo na vlákna		Rovnoběžně
	Tangenciálně α_r	Radiálně α_r	
Jehličnaté	0,25	0,12	0,01
Listnaté	0,40	0,20	0,01

Podle hodnot sesychání můžeme dřeva rozdělit na:

- málo sesychavá (tis, olše, vrba, topol, kaštan),
- středně sesychavá (borovice, smrk, jedle, dub, jilm, jasan, javor),
- hodně sesychavá (modřín, bříza, buk, habr, lípa).

• Barva dřeva, lesk a textura

Barva dřeva je ovlivněna látkami ve dřevě, stářím a stanovištěm růstu. Čím je dřevo tmavší, tím obsahuje více pryskyřic a tříslovin, které činí dřevo odolnější vůči hnilobě. Obecně platí, že čím je dřevo tmavší, tím je i trvanlivější.

Lesk dřeva je optickou vlastností, která je způsobena nejednotným průběhem vláken, která odrážejí světelné paprsky. Některá dřeva jsou na řezu pruhovaně lesklá (např. mahagon), jindy vidíme lesklé plošky (dřeňové paprsky).

Textura dřeva je podmíněna především anatomickou stavbou (póry, letokruhy, dřeňovými paprsky), dále barvou, leskem a druhem řezu. Textura jehličnanů je jednodušší a je vytvořena především kresbou výrazných letokruhů. Listnaté dřeviny mají složitější anatomickou stavbu, výraznější barvu a rozdílný lesk v ploše.

• Tepelné, elektrické a akustické vlastnosti

Tepelná vodivost dřeva je velmi malá a zvětšuje se s objemovou hmotností, vlhkostí a teplotou dřeva. Ve směru vláken je dřevo dvakrát vodivější než kolmo na vlákna. Součinitel tepelné vodivosti pryskyřičného dřeva při vlhkosti 15% se pohybuje kolem $0,25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ a kolmo na vlákna kolem $0,075 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Teplotní délková roztažnost je charakterizována koeficientem teplotní roztažnosti α_i , který závisí na druhu dřeva a jeho hustotě. S ohledem na jeho nízké hodnoty nemusíme s účinky od teplotních změn u dřevěných konstrukcí počítat. Dilatační spáry mezi jednotlivými dřevěnými prvky jsou nutné pouze kvůli objemovým změnám vlivem vlhkosti.

Elektrické vlastnosti dřeva - dřevo v suchém stavu je velmi dobrý izolant, se vzrůstající vlhkostí se stává částečně elektricky vodivým.

Akustické vlastnosti dřeva – zvuková vodivost, pohltivost a průzvučnost jsou vlastnosti dřeva, které jsou nenahraditelné při výrobě hudebních nástrojů. Pro svoji schopnost odrážet a pohlcovat zvuk se používá při akustických úpravách divadelních a koncertních sálů.

- **Hořlavost dřeva** – dřevo je hořlavý materiál, je schopno vznítit se, žhnout a hořet. Bod zápalnosti je teplota 300 až 470°C. Doba zapalování suchého dřeva je 50 až 300 vteřin při působení teploty nad 330°C.

- **Trvanlivost dřeva**

Zpravidla platí, že dřeviny s temnějším jádrem jsou trvanlivější než dřeviny se světlým nebo nevýrazným jádrem. Trvanlivost dřeva nejvíce závisí na prostředí, ve kterém je dřevo použito a na druhu dřeva. Trvanlivost dřeva výrazně zkracuje kolísavá vlhkost, zvláště tehdy, je-li dřevo v částečném styku s půdou.

Trvanlivost dřeva uloženého na vzduchu pod střechou, bez styku s půdou je uvedena v **Tab. 1-4**. Rozdělení dřevin podle průměrné trvanlivosti při trvalém kontaktu se zemí je uvedeno v **Tab.1-5**.

Tab. 1-4 *Průměrná trvanlivost některých druhů dřeva [14]*

Druh dřeva	Průměrná trvanlivost v letech *
Buk	5 - 95
Borovice	90 - 120
Dub	100 - 200
Modřín	90 - 120
Smrk	50 - 75

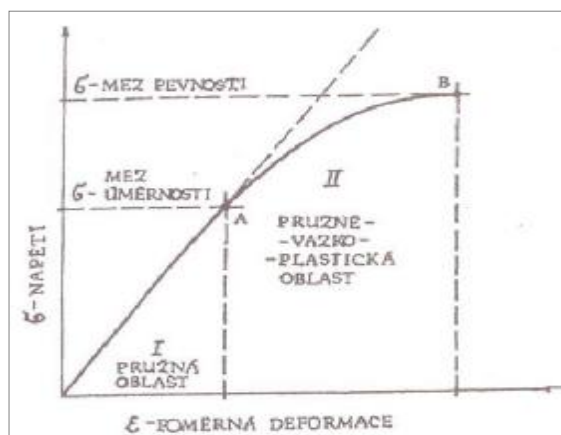
*Dřevo uložené na vzduchu, bez styku s půdou

Tab. 1-5 Trvanlivost jádrového dřeva některých dřevin při trvalém kontaktu se zemí [14]

Trvanlivost - životnost při kontaktu se zemí	Netrvanlivé < 5 let	Málo trvanlivé 5-10 let	Středně trvanlivé 10 - 15 let	Trvanlivé 15 - 25 let	Velmi trvanlivé > 25 let
Listnaté dřeviny	jasan	jilm	ořech	dub	týk
	buk	javor	bankirai	kaštan	greenheart
	bříza	dub červený	gurjun	mahagon	iroko
	topol	topol šedý		agba	azobe
	vrba	meranti			kapur
	habr				
Jehličnaté dřeviny		borovice lesní	borovice douglaska	cedr	
		jedle	modřín	tis	
		borovice těžká	borovice přímořská	zerav obrovský	
		smrk sitka	limba sibiřská	zerav západní	

1.3.2 Mechanické vlastnosti dřeva [1], [3], [5], [14]

Mechanické vlastnosti dřeva charakterizují schopnost dřeva odolávat účinkům vnějších sil. Popisují vlastnosti z hlediska pevnosti a pružnosti. Jde především o pevnost v tlaku, tahu, smyku, ohybu, moduly pružnosti, houževnatost a další. Často se ověřuje i tvrdost dřeva.

**Obr.1-6** Obecný tvar pracovního diagramu pro většinu pevnostních vlastností dřeva[1]

- **Modul pružnosti v tahu a tlaku** – je charakterizován podílem napětí a poměrné deformace; průměrná hodnota modulu pružnosti ve směru vláken se pro domácí dřeviny udává v rozpětí 10 000 - 15 000 MPa při průměrné absolutní vlhkosti 12%; napříč vláken je tato hodnota až 25x menší, přičemž v radiálním směru je cca o 20 - 50% vyšší než ve směru tangenciálním.
- **Modul pružnosti v ohybu** – udává se pouze modul pružnosti kolmo na vlákna a zkouší se prakticky jen v tangenciálním směru.

- **Modul pružnosti ve smyku** – pro naše dřeviny se pohybuje v rozmezí 100 – 2 000 MPa. Nejmenší hodnoty dosahují v příčné a největší v radiální rovině.
- **Pevnost dřeva v tlaku** – s ohledem na směr působící síly k orientaci vláken a letokruhům dřeva rozlišujeme:
 - **pevnost v tlaku ve směru vláken** – je velmi důležitou vlastností; působením tlaku na těleso podél vláken dojde k deformaci, projevující se zkrácením délky tělesa; charakter deformace závisí na jakosti a stavbě dřeva; důležitými činiteli jsou hustota a vlhkost dřeva,
 - **pevnost v tlaku napříč vláken** – při působení tlaku napříč vláken nedochází k celkovému porušení tělesa, ale dochází k postupné deformaci a zhušťování dřevní struktury v celém objemu.
- **Pevnost dřeva v tahu** – porušení tělesa při namáhání v tahu se projevuje roztrhnutím buněk dřeva v pracovní části tělesa; rozlišujeme:
 - **pevnost v tahu ve směru vláken** – v porovnání s ostatními pevnostmi je největší; průměrná hodnota pro všechna naše dřeva se udává 120 MPa,
 - **pevnost v tahu napříč vláken** – dřevo zatěžované v tahu napříč vláken vykazuje jednu z nejmenších pevností vůbec; průměrná tahová pevnost kolmo na vlákna se pohybuje v rozpětí od 1,5 do 5 MPa, proto bychom se měli při použití dřeva na nosné konstrukce tomuto způsobu zatížení vyhnout.
- **Pevnost dřeva v ohybu** – je jednou z nejdůležitějších mechanických vlastností; zpravidla se sleduje a používá pevnost napříč vláken v tangenciálním směru; mez pevnosti v tomto směru je průměrně 100 MPa.
- **Tvrdost dřeva** – charakterizuje schopnost dřeva klást odpor proti vnikání jiného tělesa do jeho struktury; podle druhu zatížení rozlišujeme:
 - statickou tvrdost – zjišťujeme zatlačováním ocelové kuličky daného průměru statickým zatížením na plochu dřeva,
 - dynamickou tvrdost – je podíl potenciální energie kuličky padající volným pádem ze stanovené výšky ku ploše otlačení, kterou kulička vytvoří.

Dřeva našich dřevin dělíme podle čelní tvrdosti při $w = 12\%$ na dřeva:

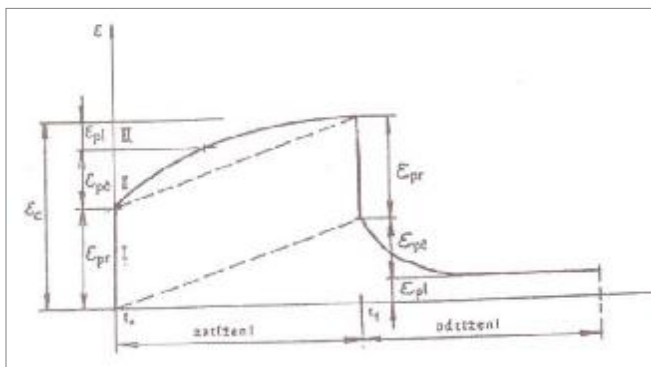
- měkká (tvrdost 40 MPa a méně): smrk, jedle, borovice, topol, lípa,
- středně tvrdá (tvrdost 40 – 80 MPa): jasan, jilm, dub, ořech,
- tvrdá (tvrdost nad 80 MPa): habr, akát, tis.

- **Rázová houževnatost dřeva** – je schopnost dřeva absorbovat práci vykonanou rázovým ohybem; vyjadřuje ji spotřebovaná energie potřebná na přeražení dřevěného tělesa definovaných rozměrů při použití Charpyho kladiva.

Mechanické vlastnosti dřeva ovlivňuje řada faktorů:

- vlhkost – s jejím zvyšováním se mechanické vlastnosti zhoršují,
- objemová hmotnost – s jejím zvyšováním se mechanické vlastnosti zvyšují,
- konstrukční rozměr – se zvětšováním prvků dochází ke snižování mechanických vlastností,
- vady dřeva – výsušné trhliny, suky, hniloba, poškození hmyzem snižují mechanické vlastnosti,
- čas trvání zatížení – s prodlužováním času trvání zatížení pevnost dřeva klesá přibližně na 60% krátkodobé pevnosti.

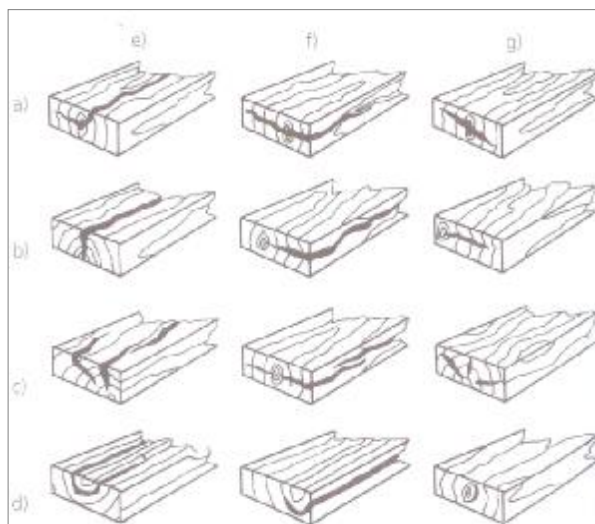
Systém tříd pevnosti dřeva pro stavební konstrukce stanovuje norma ČSN EN 338 (**Tab. 1 Příloha 1**). Jsou zde uvedeny charakteristické hodnoty pevností, modulů pružnosti a hustoty pro jednotlivé třídy a pravidla pro přiřazování základních souborů dřeva (tj. kombinaci druhu, původu a jakostní třídy dřeva) ke třídám pevnosti.



Obr. 1-7 Průběh deformace ε v závislosti na čase t při zatížení dřeva nad mez úměrnosti a při odtížení; ε_c – deformace celková, ε_{pr} – deformace pružná, $\varepsilon_{př}$ – deformace pružná s časem, ε_{pl} – deformace plastická (nevratná); I, II, III – fáze zatížení [1]

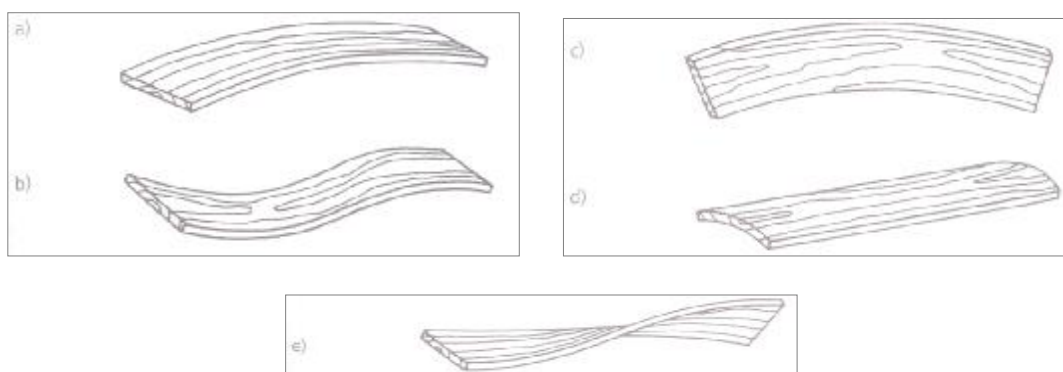
1.4 VADY A ŠKŮDCI DŘEVA [3], [14]

Vadami dřeva se rozumí odchylky od normálního stavu, popř. se za vady dřeva považují takové vlastnosti dřeva, které ovlivňují jeho účelové použití. Rozlišujeme vady růstové, ke kterým řadíme suky (plošné, hranové, kruhové, oválné apod.), trhliny (např. dřehové, mrazové, odlupčivé), nepravidelnosti struktury (odklon vláken, zárosty, smolníky) a nenormální zbarvení dřeva.



Obr. 1-8 Základní varianty trhlin: a) dřehové, b) mrazové, c) výsušné, d) odlupčivé, e) plošné, f) boční, g) čelní [14]

Vady řezání (oblíny, vady řezu, rýhy, chlupatost) a deformace dřeva (zakřivení) jsou definovány v normě ČSN EN 844-3.



Obr. 1-9 Varianty zakřivení řeziva: a) podélné plošné jednoduché, b) podélné plošné složené, c) podélné boční, d) příčné, e) šroubovité [14]

K vadám dřeva patří i poškození cizopasnými organismy (tj. plísněmi a houbami) nebo hmyzem (chodby a otvory ve dřevě).

Největšími škůdci dřeva jsou **dřevokazné houby**, které rozkládají buďto celulózu (celulózovorní), nebo lignin (ligninovorní). Dřevokazné houby způsobují hnilobu dřeva. Dřevo ztrácí pevnost, stává se křehkým, rozpadá se. Nejobávanější dřevokaznou houbou je dřevomorka domácí (*Merulius lacrymans*), která dokáže prorůst i zdivem a postupně může být houbou napadeno dřevo v celém objektu. Zničení dřevomorky je pracné a nákladné, protože je nutno zlikvidovat a vyměnit veškeré napadené dřevo (nemělo by se pálit, neboť výtrusy dřevomorky odolávají značně vysokým teplotám a mohou být rozneseny kouřem do okolí) a upravit i nedřevěné části konstrukce, přiléhající k napadeným částem (např. přizdít zdivo na fungicidní maltu). Poměrně novou technologií je likvidace dřevomorky pomocí mikrovlnného záření. Typickou příčinou vzniku dřevomorky u starších objektů je uzavření původních dřevěných podlah a stropů neprodyšnými podlahovinami (např. PVC).

Tab. 1-6 Podmínky růstu dřevomorky domácí [14]

Hodnoty	Minimální	Optimální	Maximální
Vlhkost dřeva	20	30	55 - 130
Teplota	3	5 - 7	27
pH substrátu	3	5 - 7	9

Další dřevokazné houby jsou koniofora sklepní (*Coniophora puteana*), která bývá často předvojem dřevomorky, trámovka (*Gleofyllum sepiarium*), která vyvolává tzv. červenou hnilobu, houževnatec šupinatý (*Lentinus*) atd.

K příčinám výskytu dřevokazných hub v objektu patří např. zvýšená vlhkost, nesprávná konstrukční řešení, která umožňují zatékání vody, nedostatečná ochrana dřeva biocidy, zatékání vody při provozu a úklidu, použití nevhodného druhu dřeva. K příznakům přítomnosti dřevokazných hub patří změna barvy a struktury dřeva, zvýšená vlhkost, malá pevnost proti vniku nože, ztráta pevnosti a soudržnosti. Někdy se objeví také typická houbová vůně.

Pod dřevozabarvující houby patří modrací houby a plísně. Plísně napadají pouze povrch dřeva, nemění výrazně jeho mechanické vlastnosti, ale mohou být vstupní bránou pro další dřevokazné houby. Dřevozabarvující houby zpravidla napadají čerstvé řezivo a částečně pronikají do dřeva. Způsobují nežádoucí změny dřeva.

Dřevokazní brouci napadají jak dřevo živé, tak stavebně zpracované. Vývojový cyklus dřevokazných brouků je podle druhu a čeledi různě dlouhý. Nevratné poškození dřeva způsobují larvy, které prožírají ve dřevě chodbičky, a tím snižují statiku dřevěných konstrukcí.

K hmyzím škůdcům dřeva patří např. tesařici, zejména tesařík krovový (*Hylotrupes bajulus*), piložítka (*Siricidae*), červotoči (*Anobiidae*), hrbohlav (*Lyctus brunneus*), kůrovci a další. Poškození hmyzem se jeví na povrchu dřeva jako brázdy, kruhové či oválné vstupní a výletové otvory, jdoucí do hloubky dřeva. Ze skupiny termitů jsou v Evropě důležité pouze čtyři druhy a z nich jsou nejnebezpečnější podzemní druhy (*Reticulitermes lucifugus*, *Reticulitermes santonensis*). Termiti se v Evropě nacházejí pouze v určitých geografických oblastech, v České republice je riziko napadení termity minimální. Třídy ohrožení biologického napadení dřeva a pravděpodobnost výskytu škůdců (**Tab. 2 Příloha 1**).

1.5 OCHRANA DŘEVA [3], [14]

Dřevo vzhledem ke svému organickému původu podléhá různým vlivům prostředí, které mohou vést k jeho úplnému rozkladu. Proto je nutné dřevo chránit proti atmosférickým vlivům (UV záření), biologickým škůdcům (bakterie, houby a hmyz) a proti ohni.

1.5.1 Ochrana proti biologickému napadení

Ochranu dřeva lze v zásadě rozdělit na konstrukční (nechemickou) a chemickou. Hlavním úkolem **konstrukční a fyzikální ochrany** dřevěných konstrukcí je zabránit aktivitě biologických škůdců a tím předejít poruchám a nevratné destrukci dřeva bez použití chemikálií. Konstrukční ochranu lze řešit vhodným výběrem druhu dřeva, tvarovou optimalizací dřevěných prvků, konstrukcí celého objektu, izolací proti vlhkosti, regulací klimatických podmínek v objektu.

Při vlhkosti dřeva nižší než 20% se zastavuje růst dřevokazných hub, a proto není nutné preventivně chemicky ošetřovat dřevěné konstrukce, jejichž vlhkost nepřesáhne 20% a jsou chráněné před povětrnostními vlivy.

Nebezpečí ohrožení dřeva dřevozabarvujícími houbami nastává při vlhkosti povrchu dřeva vyšší než 22% a teplotách mezi 22 až 25°C. Ohrožení dřeva plísněmi nastává při vlhkosti jeho povrchu nad 25%, a to zejména při kondenzaci vzdušné vlhkosti a nedostatečném větrání. Ohrožení dřeva houbami způsobujícími tzv. mokrou hnilobu (houby Ascomycetes) nastává při trvalém kontaktu dřeva se zemí nebo s vodou a také, je-li zabudováno ve venkovním prostředí, v jeho spárách nebo trhlínách, kde se usazují nánosy prachu, hlíny apod. Nebezpečí ohrožení hmyzem nastává při teplotách nad 10°C a při vlhkosti dřeva již nad 10%.

Chemická ochrana dřeva se navrhuje až po vyčerpání všech možných konstrukčních opatření a spočívá v jeho ošetření ochrannými prostředky, které obsahují účinné látky proti biologickému napadení, proti vlhkosti a povětrnosti.

Dřevo se může chránit preventivně nebo dodatečně, dále krátkodobě nebo dlouhodobě. Podle hloubky průniku se rozlišuje ochrana povrchová (průnik do 3 mm povrchu dřeva), polohluboká (průnik od 3 do 10 mm) a hluboká (průnik více než 10 mm). Dřevo může být ošetřeno mnoha způsoby: postřikem nebo nátěrem, máčením, ponořováním, poléváním nebo nanášením vakuotlakovou impregnací nebo její modifikací.

V minulosti se k ochraně dřeva používaly zejména dehtové oleje, hašené vápno a dobytčí krev. Velmi oblíbené byly prostředky na bázi rtuti, arzenu a zejména pentachlorfenolu, které jsou dnes zakázány. Dnes se vyrábějí prostředky na bázi anorganických sloučenin boru, organokovových sloučenin mědi nebo hliníku. Jako fungicidy se používají organické sloučeniny na bázi triazolů, proti plísním jsou účinné sulfonamidy. Jako insekticidy jsou používány syntetické pyrethroidy, jako hydrofobizační látky se nejčastěji používají alkydové pryskyřice.

1.5.2 Ochrana proti požáru

Dřevo je hořlavý materiál, i přesto lze proces zuhelnatění odhadnutelný a šíření plamene omezit impregnací nebo povrchovou úpravou.

U průřezů s rozměry většími než cca 50 mm povrch dřeva vystavený požáru uhelnatí a odhořívá stálou rychlostí. Na povrchu se vytvoří zuhelnatělá vrstva dřevní hmoty, která brání přístupu vzduchu do vnitřních částí průřezu, tlumí hoření a má dobré tepelně – izolační vlastnosti. V důsledku toho zůstává uvnitř zbytkového průřezu pevnost a tuhost dřeva v zásadě beze změny. Z tohoto důvodu se velké průřezy např. lepeného lamelového dřeva chovají při požáru mimořádně příznivě, zatímco menší průřezy se musí přiměřeně chránit.

Ochrany proti ohni lze dosáhnout dodržováním **protipožárních opatření**, správně volených konstrukčních zásad (oddělení dřevěných konstrukcí od míst možného vzniku požáru, použití ochranných obkladů). Velmi dobře chrání dřevo obyčejná omítka tlustá 20 až 30 mm, která za předpokladu, že se mechanicky neporuší, zabezpečuje ochranu 20 až 40 minut.

Chemické prostředky proti ohni lze rozdělit do dvou skupin: amonné soli, které při zvýšené teplotě vytvářejí plynné zplodiny zabraňující přístupu vzduchu, pěnotvorné vícesložkové systémy obsahující pojivo, nadouvadlo a retardéry hoření, které při zvýšené teplotě vytvářejí pěnu, která má izolační funkci.

Velké dřevěné průřezy mohou být použity i bez dodatečné protipožární ochrany. Dřevo se může rovněž používat pro speciální účely, např. na protipožární dveře, které jsou schopny tvořit uzávěr mezi požárem s teplotou téměř 1 000°C a únikovou cestou s teplotou 30°C.

2. DIAGNOSTICKÉ METODY

2.1 ÚVOD [6], [7], [10]

Mezi nejstarší a nejjednodušší metodu používanou při průzkumech dřevěných konstrukcích patří vizuální průzkum. Umožňuje odhalit povrchové biotické a zároveň i viditelné mechanické poškození dřeva. Problém ovšem nastává ve chvíli, kdy je třeba přesně definovat celkové poškození jednotlivých prvků konstrukce, tzn. identifikovat rozsah vnitřního poškození, lokalizovat přechod mezi zdravou a již poškozenou částí, eventuálně určit fyzikální a mechanické vlastnosti potřebné jako podklad pro návrh sanačních opatření. Takové návrhy obvykle nelze provádět jen na základě vizuálního průzkumu, ale je nutné požadovat zapojení nedestruktivních a semidestruktivních přístrojových metod.

Diagnostické metody určené pro průzkum dřevěných konstrukcí můžeme rozdělit na:

- **Nedestruktivní metody:**
 - Vizuální hodnocení
 - Měření rychlosti šíření UZ vln
 - Radiační diagnostické metody
- **Semi-destruktivní metody:**
 - Odporové zarážení trnu
 - Odporové vrtání
 - Zatlačování trnu
 - Vytahování vrutu
 - Zkoušení tahových mikrovzorků
 - Endoskopie
- **Destruktivní metody:**
 - Odběr vzorků pro laboratorní zkoušky.

2.2 MĚŘENÍ VLHKOSTI [6], [10]

Dřevo je ve vztahu ke okolnímu prostředí hygroskopickým materiálem a má schopnost měnit svoji vlhkost podle vlhkosti okolního prostředí. Zvýšená vlhkost dřeva ovlivňuje jak riziko biotické degradace dřeva způsobené dřevokaznými houbami a dřevokazným hmyzem, tak také ovlivňuje jeho mechanické vlastnosti.

Jelikož má vlhkost dřeva vliv na fyzikální a mechanické vlastnosti prvku, je tedy třeba ji vždy určit, zvláště při průzkumu konstrukcí in-situ. Zvýšený obsah vody může ovlivňovat výsledky průzkumu a zároveň může být dobrým vodítkem např. při identifikaci míst průsaku vody střešním pláštěm. V místě lokalizace části konstrukce, kde se vyskytuje problém se zvýšenou vlhkostí, by měl být proveden detailní průzkum a následně zhodnocen rozsah poškození.

Při diagnostice zabudovaných prvků se používají především příruční vlhkoměry, kalibrované na základě zjišťování vlhkosti s ohledem na druh dřeva a teplotu. Vlhkoměry dělíme na základě principu, na kterém pracují: odporové, kapacitní, absorpční, mikrovlnné a jiné. V praxi nejpoužívanější jsou odporové vlhkoměry, které využívají elektrický stejnosměrný odpor a vodivost dřeva.



Obr. 2-1 *Přístroj na měření vlhkosti dřeva Hygrotest 6500 se zářezací sondou [6]*

2.3 NEDESTRUKTIVNÍ DIAGNOSTICKÉ METODY

2.3.1 Vizuální hodnocení [6], [10]

Metoda vizuálního průzkumu je při průzkumech dřevěných konstrukcí nejrozšířenějším diagnostickým postupem a to i díky své jednoduchosti. Používá se za účelem získání informací týkajících se vlastností a stavu materiálu, získání přibližného stáří dřevěných konstrukcí a také pro odhalení původních technologických postupů a dodatečných zásahů do dřevěných konstrukcí. Touto metodou lze určit druh použitého dřeva, charakteristické znaky prvku, vady dřeva. Vizuální hodnocení je dále zaměřeno na identifikaci a vyhodnocení biodegradace a zjištění přítomnosti biologických škůdců (výletové otvory, změny povrchu, drť a prach blízko poškozeného prvku, plodnice hub, mycelium, změny barvy). Rovněž je možné odhalit deformace dřevěných prvků nebo uvolnění konstrukčních spojů.

Největší úskalí vizuálního hodnocení vyplývá jednoznačně ze stanovení hodnotících kritérií a subjektivního hodnocení diagnostika. Vizuální hodnocení je proto vhodné zejména pro identifikaci kritických míst, které je třeba následně detailně vyhodnotit pomocí nedestruktivních diagnostických metod.

2.3.2 Měření rychlosti šíření UZ vln [6], [7], [10]

Ultrazvuková metoda je jedna z nejpoužívanějších metod vyšetřování stavu konstrukce. Je zcela nedestruktivní, poskytuje okamžité výsledky a to nejen lokálně ale i z hlediska celkového hodnocení stavu prvku. Diagnostické přístroje pracují s frekvencemi od 20 kHz do 500 kHz, záleží na typu přístroje a použitých sondách. Nejpoužívanější ultrazvukové přístroje určené pro měření dřeva jsou Arborsonic Decay Detector, Sylvatest, Pudít a Tico.



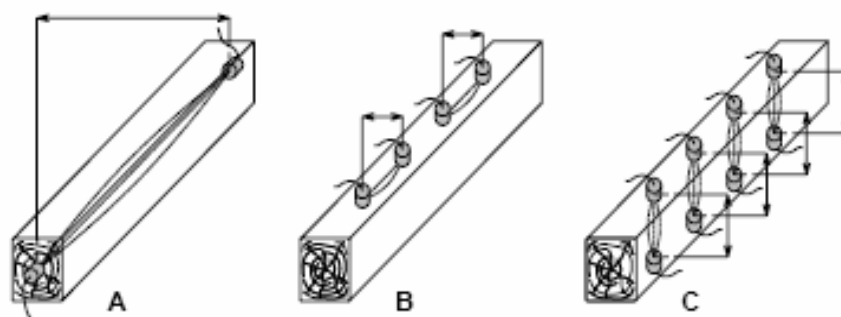
Obr. 2-2 *Arborsonic Decay Detector*[6]



Obr. 2-3 *Ultrazvukový přístroj TICO* [6]

Měření probíhá pomocí dvou snímačů, z nichž jeden je budič ultrazvukového signálu a druhý snímač. Rychlost šíření vlny závisí na druhu dřeva, jeho vlastnostech, hustotě, tuhosti, na vnějších podmínkách a na jednotlivých anomáliích v růstu jako jsou např. suky, praskliny a různá jiná námi hledaná poškození. Degradované dřevo vykazuje nižší rychlost šíření vln. Vlna totiž prochází přes nej kvalitnější zóny a obchází zóny s defekty. V místě trhliny je doba průchodu vlny delší než ve zdravém dřevě. Rychlost šíření vln ve dřevě je anizotropní a závisí na aktuálním stavu dřeva a jeho vlhkosti. S rostoucí vlhkostí dřeva klesá rychlost šíření vln.

Měření rychlosti šíření vlny podél vláken je parametrem, který může být použit na určování odhadovaných vlastností prvku jako celku. Při průzkumech konstrukcí in situ není obvykle možné přikládat sondy z čel jednotlivých trámů, a tak musí být sondy přiloženy buď z jedné strany prvku pro zjištění šíření ultrazvukové vlny podél vláken nebo z obou protilehlých stran pro měření signálu napříč vlákny. (**Obr. 2-4**). Druhý způsob je přesnější, vyžaduje však přístup na obě protilehlé strany prvku a větší počet měření na jednom prvku, čímž je použití této metody omezené.



Obr. 2-4 Možnosti přikládání sond při měření ultrazvukem: a) přímé měření podél vláken, b) nepřímé měření podél vláken, c) přímé měření napříč vlákny [6]

Při diagnostice větších prvků dochází k útlumu signálu, což lze eliminovat použitím nižších frekvencí. Ty jsou ale méně citlivé na menší vnitřní vady prvku. Měření při použití vysokých frekvencí, které jsou více citlivé, je ovlivněno velkým útlumem signálu. Ultrazvuková metoda je proto efektivní zejména na prvky malých rozměrů. Možnost detekce poškozených míst závisí na vlnové délce. Vady s rozměrem menším než polovina vlnové délky nemohou již zpravidla být detekovány pomocí ultrazvukové diagnostiky. Proto je pro detekci poškození v podobě drobných dutých míst a vad v materiálu vhodnější ultrazvuk s vyšší frekvencí a menší vlnovou délkou.

2.3.3 **Radiační diagnostické metody** [6], [7], [10]

Do této skupiny se řadí radiometrie a radiografie, metody, které využívají ionizujícího záření. Výhodou těchto metod je fakt, že jde o zcela nedestruktivní metody, což je cenné zejména při provádění diagnostiky historických dřevěných konstrukcí. Nevýhodou je nutnost zvláštních bezpečnostních opatření, vyplývající z práce s ionizujícím zářením.

Radiometrie

Radiometrie je diagnostickou metodou, která umožňuje měření objemové hmotnosti a vlhkosti bez porušení materiálu s využitím ionizujícího záření. Radiometrie se ve stavebnictví používá zejména v případech, kde měření objemové hmotnosti a vlhkosti klasickými metodami (např. měřením objemu a vážením) jsou zdoluhavá nebo technicky nerealizovatelná. V případě dřeva může být radiometrie použita zejména k určení objemové hmotnosti bez jakéhokoli poškození materiálu.

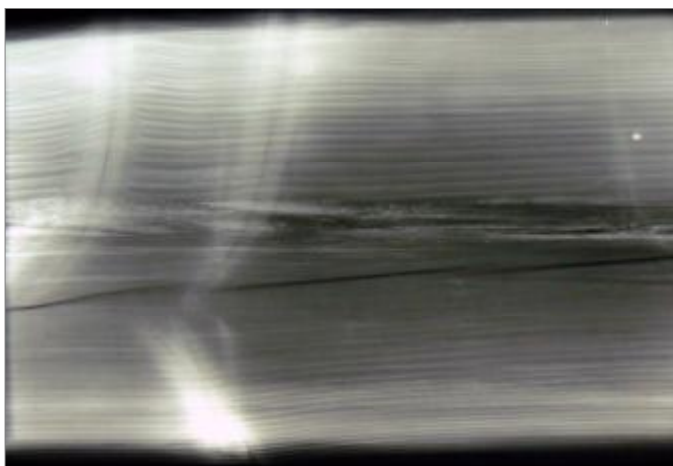
Radiometrické určení objemové hmotnosti je založeno na principu průchodu a zeslabení záření gama, případně na principu rozptylu záření gama v měřeném materiálu. Jako zdroje záření gama se nejčastěji používá vhodný radioaktivní zářič, např. cesium Cs 137. Detektory záření jsou buď Geiger – Müllery počítací částic nebo scintilační detektory, které jsou spojeny s vyhodnocovací jednotkou. Výsledkem měření je četnost impulsů za časovou jednotku, kterou je třeba pomocí kalibrační křivky převést na objemovou hmotnost. U moderních přístrojů je kalibrační křivka ve vyhodnocovací jednotce naprogramována a výsledky měření jsou udávány přímo v kilogramech na krychlový metr.

Radiografie

Radiografická metoda je založena na specifických vlastnostech rentgenového záření a záření gama, které je rozptylováno a absorbováno prostředím, kterým prochází. Míra zeslabení při stejné energii záření je závislá na prozařované tloušťce a na objemové hmotnosti materiálu. V technické praxi jde tedy o metodu, umožňující zobrazení vnitřních nehomogenit v materiálech a prvcích konstrukcí zcela bez porušení.

Míra zeslabení záření po průchodu materiálem je dosud obvykle zaznamenávána na radiografickém filmu, který po vyvolání zobrazuje vnitřní strukturu kontrolovaného místa. Místa s vyšší hustotou v prozařovaném předmětu se projeví světlejšími stopami nižšího zčernání na vyvolaném filmu. V posledních letech se pro detekci prošlého záření využívají místo radiografických filmů i mnohonásobně použitelné tzv. záznamové folie.

V případě diagnostiky dřevěných konstrukcí může být radiografie cenným pomocníkem při zobrazení vad a poruch uvnitř dřevěných prvků, které by nemusely jiné diagnostické metody odhalit, navíc jde o 100% nedestruktivní metodu. Jako zdroje záření je v diagnostice dřevěných konstrukcí vhodné využít některý z technických rentgenů.



Obr. 2-5 Radiogram masivního jedlového trámu v konstrukci krovu historického objektu. Dobře je patrná struktura dřeva, suky, trhliny ve středu rozvinutá středová hniloba, z povrchu trámu jinak neviditelná [6]

2.4 SEMI-DESTRUKTIVNÍ DIAGNOSTICKÉ METODY

2.4.1 Odporové zarážení trnu [6], [7], [11]

Nejčastěji používaný přístroj Pilodyn 6J je jednoduché mechanické zařízení umožňující měřit hloubku průniku trnu s průměrem 2,5 mm vystřeleného do dřeva při konstantní práci 6 J. Při dynamickém nárazu kalibrovaného výstřelu, který zajišťuje penetraci hrotu do povrchu materiálu, je možné měřit hloubku zarážení trnu. Maximální hloubka zarážení trnu je 40 mm. Poškození testovaného materiálu je velmi malé a téměř zanedbatelné. Existuje několik verzí tohoto zařízení, např. Pilodyn 12 J a Pilodyn 18 J, které mají větší úderovou sílu, nebo Pilodyn 4JR s opakovaným výstřelem.



Obr. 2-6 Přístroj Pilodyn 6J Forest [6]

Pro zjišťování hustoty konstrukčního dřeva na základě měření vlhkosti a hloubky vniku rázového trnu do dřeva lze použít tyto vztahy:

$$r_{12} = -0,027102 \cdot t_{p,12} + 0,727987$$

$$t_{p,12} = t_p (1 - 0,007 \cdot \Delta w)$$

$$\Delta w = w - 12$$

kde: ρ_{12} – hustota dřeva při vlhkosti 12% [kg.m⁻³]

$t_{p,12}$ – hloubka zaražení trnu do dřeva o vlhkosti 12% [mm]

t_p – hloubka zaražení trnu do dřeva o známé vlhkosti [mm]

w – vlhkost dřeva v době měření [%]

Mezi faktory ovlivňující měření patří vlhkost, která umožňuje lepší průnik do dřeva a také v případě poškození způsobeného hmyzem nebo hnilobou bude, vzhledem k nižším pevnostním charakteristikám, bude hloubka penetrace vyšší. Testování v radiálním směru se jeví jako průkaznější z důvodu pravidelného střídání jarního a letního dřeva v rámci letokruhu. Při odklonu od radiálního směru menším než 30°, je variabilita měření do 10%. V případě použití tangenciálního směru měření Pilodynem dochází často k zaražení trnu jenom do jedné části letokruhu, čímž se výsledky značně zkreslují.

2.4.2 Odporové mikrovrtání [6], [7]

Odporové mikrovrtání se liší od odporového zarážení trnu zejména tím, že díky pozvolnému pronikání materiálem nabízí přehled o jeho vnitřní struktuře a případném poškození. Mezi nepoužívanější přístroje můžeme zařadit přístroj Resistograph (2450-S; Frank Rinn, Germany) nebo přístroj ILM-RESI (F300; Wallesch Electronic, Germany).

Resistograph pracuje na principu měření odporu materiálu při vrtání wolframovým vrtákem o průměru 1,5 – 3,0 mm. Vřeteno vrtáku je neustále stabilizováno uvnitř vrtacího zařízení speciálním teleskopem. Hmotnost přístroje je přibližně 3 kg, má dva elektrické motory, ze kterých jeden zabezpečuje konstantní posun 30 cm. min⁻¹ a druhý neměnné otáčky 6 000 ot. min⁻¹.



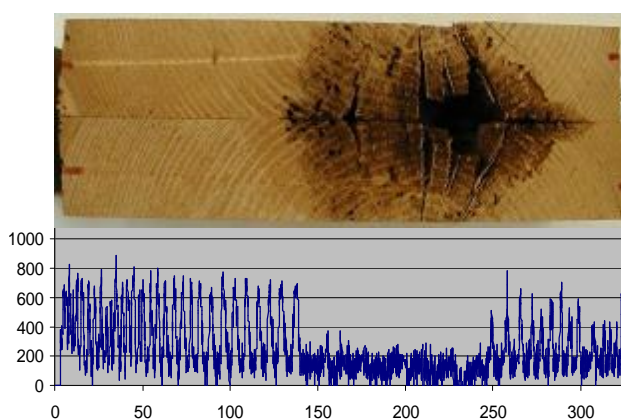
Obr. 2-7 Resistograph [7]



Obr. 2-8 Příklad IML RESIF [20]

Výstupem je grafický záznam – hustotní profil (dendrogram), který může být uchován na papírové pásce, záznamníku nebo elektronicky uložen na počítači. Vrcholy v grafickém záznamu odpovídají vyšším odporům a tedy i vyšší hustotě dřeva, zatímco nižší body jsou spojené s nižším relativním odporem dřeva a nižší hustotou.

Příklad grafu je uvedený na **Obr. 1-10** a znázorňuje typický průběh při sníženém odporu dřeva způsobený hnilobou.



Obr. 2-9 Hustotní profil (dendrogram) naznačující snížení odporu dřeva vlivem hniloby[6]

Nejčastější poškození dřevěných prvků je způsobeno vnitřním poškozením bez povrchových změn, proto je Resistograph velmi vhodnou metodou na diagnostiku zabudovaného dřeva. Vrtání na několika místech v rámci jediného objektu poskytuje přehled o stavu poškození prvku. Grafy mohou definovat stav pouze lokálně v místě vrtání. Odlišný vrtací odpor může odhalit různé stupně poškození.

Podobně jako u většiny diagnostických metod, i zde existují limitující omezení. Optimální je vrtání v radiálním směru, protože je zaručeno střídání jarního a letního dřeva v letokruhu. Je nutné zabezpečit také ostrost vrtáku, jeden vrták je možné použít přibližně na 300 vrtání. Vrták má díky malému průměru malou ohybovou tuhost, což může vést k jeho ohýbání, vedení v zóně jarního dřeva letokruhu. Další slabinou metody je poskytování jen lokální informace. Nejlépe je Resistograph používat spolu s jinými nedestruktivními metodami.

Hodnocení stavu příčného průřezu je velmi vhodné pro lokalizaci a identifikaci rozsahu vnitřního poškození, ale vyžaduje mnohonásobné, časově náročné vrtání. Odporové vrtání je, ostatně jako většina nedestruktivních a semi-destruktivních metod, závislé na vlhkosti dřeva.

2.4.3 Odporové zatlačování trnu [6], [10]

Ve spolupráci Ústavu teoretické a aplikované mechaniky AV ČR a Ústavu Nauky o dřevě Mendelovy univerzity v Brně byl vyvinut přístroj umožňující in-situ stanovení mechanického odporu k pozvolnému vnikání tělesa a to do hloubky odpovídající rozměrům běžných dřevěných konstrukčních prvků, využitelný pro následné nepřímé stanovení hustoty a mechanických vlastností dřeva.

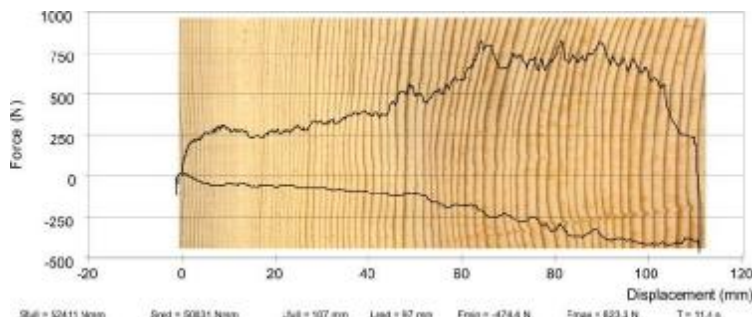


Těleso přístroje lze k testovanému objektu upevňovat různými způsoby, nejčastěji textilním popruhem, opásáním pomocí válečkového řetězu nebo pomocí spojovacích vrutů. Po upevnění je kolmo k základně přípravek vtlačován trn pomocí ozubeného hřebenu poháněného přes ozubené kolo, obouručně pomocí dvou proti sobě uložených klik.

Obr. 2-10 *Boční pohled na přístroj pro měření mechanického odporu dřeva při zatlačování trnu [6]*

Průběžně je snímána a zaznamenána působící síla při vtlačování trnu, vztažená k měřené dráze. Měřicí program zajišťuje zpracování dat, jejich zobrazování v reálném čase a ukládání. Zobrazuje se vždy právě měřený průběh síly (buď v závislosti na čase x-t, nebo v režimu x-y společně s posuvem trnu). Během měření jsou v PC počítány základní

charakteristiky, a to práce [N.mm], vyjádřená jako plocha pod křivkou síly vztažené k posuvu, délka vniku [mm], čas posuvu trnu [s] a max. a min. síla [N]. Dělením plochy pod křivkou hloubkou zatlačování je následně vypočtena průměrná síla [N] potřebná pro zatlačení trnu. Tento parametr je klíčový pro hodnocení zjišťovaného mechanického odporu dřeva.



Obr. 2-11 Záznam průběhu síly a posunutí při průniku trnu do borovic [6]

Přístroj byl navržen a testován pro hodnocení rostlého zabudovaného dřeva, dřeva zdravého či o různém stupni degradace. Přístroj zaznamenává poměrně široké spektrum mechanického odporu dřeva proti vnikání trnu, plynoucí jak z přirozených vlastností různých dřev, tak z různého stupně degradace. Odpor je ovlivněn nejen druhem, kvalitou a hustotou dřeva, ale rovněž vlhkostí dřeva. Tyto parametry musí být při interpretaci výsledků zohledněny. Případné vady dřeva, jako jsou trhliny, suky, cizí tělesa apod. výrazně zkreslí výsledky. Měření v místech s vadami je velmi vhodné se vyhnout, nebo výsledky takového měření interpretovat velmi opatrně. Podmínkou pro zatlačování trnu napříč vláken do dřeva je použití v radiálním směru, kde dochází k pravidelnému střídání jarní a letní části letokruhu.

2.4.4 Vytahování vrutu [6], [10]

Metoda využívá jednoduchého ručního zařízení pro vytáhnutí standardního vrutu průměru 4 mm zašroubovaného do hloubky 18 mm. Přístroje určené pro vytahování vrutu ze dřeva vyrábí např. maďarská firma Fakopp. Alternativní možností je vytahování pomocí univerzálního přístroje pro zatlačování trnu, kde jednoduchou výměnou trnu za háček lze přístroj uzpůsobit opačnému pohybu a tedy měřit sílu potřebnou na vytáhnutí vrutu ze dřeva. Výstupy z metody vytahování vrutu jsou využívány pro nepřímé stanovení hustoty dřeva, mohou být také kombinovány s výstupy ostatních nedestruktivních metod s cílem odvodit základní mechanické vlastnosti dřeva. Jelikož odpor při vytahování vrutu je lokální charakteristika materiálu, tak je nutné provést výběr místa a počet zkoušení, který reprezentuje celkový stav hodnoceného prvku.

Metoda vytahování vrutu má podobně jako dynamické zarážení trnu povrchový charakter, tedy vypovídá především o vlastnostech na okraji prvku a není možné stanovit případné vnitřní poškození.

2.4.5 Zkoušení tahových mikrovzorků [6], [7]

Hodnocení ohybové pevnosti je důležitý aspekt pro in-situ hodnocení dřevěných prvků, protože se jedná o převládající způsob zatěžování. Pomocí tahových vlastností je možné stanovit ohybové vlastnosti, protože ohybová pevnost je blízká tahové a dá se považovat za přibližně stejnou.

Vzorky pro určení tahové pevnosti se odebírají jednoduchým způsobem pomocí přestavitelné okružní pilky. Odběr se provádí dvěma řezy orientovanými pod úhlem 45° vzhledem k povrchu prvku. Hloubka řezu je upravená tak aby vznikla trojúhelníková lišta s pravoúhlými stěnami v rozmezí 5-8 mm. V průběhu výroby je plocha průřezu lišty ve středové části zeslabena na cca 8-12 mm², což podle ASTM odpovídá výrobě tahových vzorků. Odebrané vzorky nesmí obsahovat žádné přirozené vady (suky, trhliny nebo jiné poškození). Na oba konce vzorků se nalepí dřevěné bloky pravoúhlého tvaru, které v průběhu tahové zkoušky slouží pro uchycení mikrovzorku v zatěžovacím stroji.



Obr. 2-12 Okružní pila s pojezdem upravená[6]



Obr. 2-13 Trojúhelníkové lišty [6]

Tahový vzorek se vkládá do jednoduchých čelistí, navržených pro tento účel a zatěhuje v běžném zkušebním stroji. Zkouška je sice nestandardní, ale svým pojetím se standardní zkoušce podle ASTM velmi blíží, neboť používá stejně jednoduché uspořádání, eliminující parazitní ohyb a průřez s malým počtem letokruhů. Při zkoušce je zjišťována tahová pevnost a modul pružnosti.

Maximální tahové zatížení pro každý vzorek je zatížení při porušení a dovolené zatížení je určené podle vztahu:

$$f_c = \frac{F_{\max}}{\frac{1}{2} \cdot bh} \text{ [MPa]}$$

kde: f_c – tahová pevnost [MPa],

F_{\max} – porušení při zatížení [N],

b – přepona trojúhelníkové lišty [mm],

h – výška trojúhelníkové lišty [mm].

Výsledky dosažené touto zkouškou není třeba korelovat a mohou být prohlášeny za srovnatelné se standardním testem. Mechanické charakteristiky určené výše popsanou zkouškou musí být pro posuzování bezpečnosti konstrukce a dimenzování převedeny na technické vlastnosti řeziva, které berou v úvahu redukci lokálně zjištěné pevnosti na čistém dřevě v důsledku defektů, které se běžně vyskytují na velkých prvcích (suky, praskliny a další vady dřeva). Nevýhodou metody je zásah do povrchu hodnoceného prvku, což je v případě hodnocení stavu dřeva v historické konstrukci nežádoucí.

2.4.6 Endoskopie [6], [7]

Nejjednodušší defektoskopickou metodou pro zjišťování stavu dřevěných prvků zabudovaných do konstrukcí je vizuální hodnocení. Tato metoda je ovšem limitovaná přístupem k jednotlivým prvkům. V případě stropních konstrukcí, těžce dostupných míst nebo zazděných prvků je možné používat endoskop či videoskop. Pomocí endoskopu lze vizuálně posuzovat biotické poškození dřeva, dále je možné odhadovat vývojové stádium hub, změny barvy, zborcení, povrchový nebo kostkovitý rozklad a mechanické poškození. Dřevokazný hmyz může být identifikován pomocí charakteristického požerku a trusu. Přesné určování druhu hmyzu a hniloby ovšem vyžaduje odběr vzorků, což již v dnešní době pro některé typy endoskopů není problém.

Mezi běžně dostupné typy endoskopů patří např. Videoprobe XL PRO. Přístroj se skládá ze zdrojové jednotky, ovládacího panelu s displejem a pružného bovdenu s mikrokamerou a světlem. Zařízení umožňuje sledovat obraz přenášený z mikrokamery na displej ovládacího panelu. Záznam je ukládán ve formě videosouborů.

Předpokladem pro provedení průzkumu pomocí endoskopu je předem připravený otvor o velikosti 10–12 mm, do kterého je následně zasouván bovdem s mikrokamerou. Požadované otvory mohou být po dokončení průzkumu vhodným způsobem zazátkované.



Obr. 2-14 *Obraz vrtaných sond získaný pomocí přístroje Videoprobe XL PRO [6]*

Poškození, které vzniká navrtáním otvorů je vzhledem k rozsahu odhalení v nepřístupných místech konstrukcí velmi zanedbatelné. V některých případech lze využít různé štěrby, např. ve skladbě stropů. Identifikace poškození předpokládá velmi dobré znalosti průzkumníka, stejně jako v případě vizuálního hodnocení, bez použití endoskopu.

2.5 DESTRUKTIVNÍ DIAGNOSTICKÉ METODY

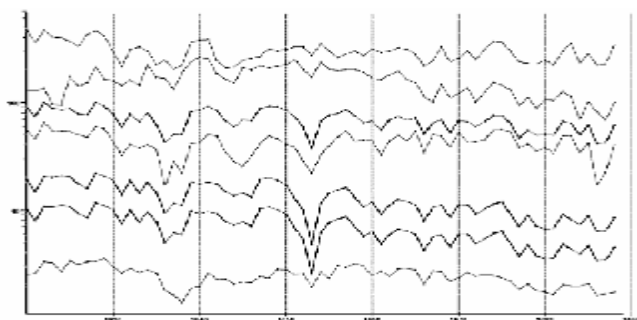
2.5.1 Odběr vzorků pro laboratorní zkoušky [6], [7], [17]

Výsledky nedestruktivního zkoušení vlastností dřeva jsou vždy jen orientační a pro jejich zpřesnění by měly být provedeny průkazné zkoušky. Průkazné zkoušky se provádějí podle ČSN EN 384 Konstrukční dřevo - Stanovení charakteristických hodnot mechanických vlastností a hustoty a ČSN EN 408 Dřevěné konstrukce - Konstrukční dřevo a lepené lamelové dřevo – Stanovení některých fyzikálních a mechanických vlastností a slouží k přímému stanovení některých fyzikálně-mechanických vlastností.

Zkoušky dřeva provádíme na vzorcích bez suků, smolnatosti a jiných vad a z výsledků těchto zkoušek usuzujeme na vlastnosti dřeva i s vadami. U konstrukčního dřeva zjišťujeme hlavně jeho fyzikální a mechanické vlastnosti, které jsou různé z hlediska základních anatomických směrů ve dřevě. Na výsledky zkoušek má také velký vliv vlhkost dřeva. Referenční příčné rozměry zkušebních těles při stanovení mechanických vlastností konstrukčního dřeva musí být 150 mm. Alternativně lze stanovovat mechanické vlastnosti na malých bezvadných tělesech, nebo na tělesech konstrukčních rozměrů. Charakteristické hodnoty stanovené tímto způsobem se musí upravit součiniteli.

2.6 DENDROCHRONOLOGIE [9], [13], [16]

Dendrochronologie je vědní obor, který využívá šířky letokruhů k historickému datování dřevěných prvků. Stromy rostoucí současně ve stejné oblasti a podobných klimatických podmínkách zpravidla mívají velice blízkou posloupnost letokruhů a srovnáním se standardní chronologií příslušné dřeviny a geografické oblasti můžeme zjistit přesný rok, ve kterém se letokruhy na vzorku vytvořily. V ČR jsou předmětem dendrochronologického výzkumu především čtyři druhy dřevin, dlouhodobě a soustavně využívané jako stavební materiál: jedle, smrk, borovice a dub.



Obr. 2-15 Srovnání průběhu deseti standardních chronologií smrku ve Střední Evropě v letech 1620 – 1690 [16]

Letokruh je přírůstek dřeva vytvořený za vegetační období činností kambia. Šířka tohoto letokruhu je závislá na mnoha faktorech – druhu dřeviny, stáří stromu a klimatických podmínkách. Letokruh se skládá ze dvou barevně i strukturou rozdílných vrstev – **jarního a letního dřeva**. Světlejší vnitřní část vzniká na jaře vzniká na jaře, kdy je růst po zimním období klidu rychlejší a dřevní hmota je v důsledku toho řidší. Tmavší a hustější část odpovídá pomalejšímu růstu v letním období.

Základní metodou **odběru vzorků** z historických krovů je odběr vývrtu Presslerovým nebozezem. Přístroj je určený pro odběry vývrtů z živých stromů i z trámů dřevěných konstrukcí. Je to ocelový dutý samořezný nebozez, obvykle o vnějším průměru 10 mm a o průměru dutiny (tj. průměru odebraného vzorku) 5mm. Vrt se vede kolmo na tečnou rovinu původního válce kmene tak, aby proťal co největší počet letokruhů.



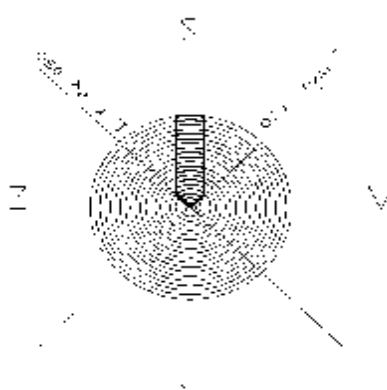
U odebraných vzorků jsou pak na speciálním měřicím stole vybaveném datovacím programem změřeny šířky letokruhů s přesností 0,01 mm.

Obr. 2-16 Presslerův nebozez [13]

3. METODIKA HODNOCENÍ STAVU DŘEVA POMOCÍ MĚŘENÍ MECHANICKÉHO ODPORU PŘI ZATLAČOVÁNÍ TRNU

3.1 Materiál a příprava vzorků

Experimenty byly provedeny na dřevě smrku ztepilého (*Picea abies*), který byl v minulosti nejčastěji používaný v dřevěných konstrukcích na našem území. Byl vybrán zdravý strom, který po vizuálním zhodnocení nevykazoval žádné vady a nepravidelnosti růstu. Na jeho kmenu byly vyznačeny světové strany a po pokácení byl na místě rozřezán na kusy délky 1 m, které byly dopraveny na pilu k dalšímu zpracování. Dle **Obr. 3-1** byly tyto kusy rozřezány ve směru světových stran a z každého takového výřezu byl vyhotoven 1 zkušební vzorek jednotné tloušťky 50 mm, šířky průřezu od 80 -160 mm a jednotné délky 50 mm. K měření bylo připraveno 84 vzorků (délka kmene 21 m x 4 světové strany) s následujícím označením: např. SM-S-1, tzn. smrk – severní strana– vzorek z prvního metru po délce kmene.



Obr. 3-1 Výroba zkušebních vzorků

Všechny takto řádně označené vzorky byly v laboratoři umístěny do elektrické sušárny s volnou cirkulací vzduchu, kde byly vystaveny stálé teplotě 20°C při vlhkosti vzduchu 65%, až do ustálení jejich vlhkosti na normových 12%. Následně byly změřeny a zaznamenány jejich rozměry a provedena **první série měření**:

- měření **mechanického odporu** dřeva pomocí semi-destruktivních diagnostických metod založených na měření mechanickém odporu dřeva při zarážení hrotu, zatlačování trnu a vytahování vrutu.

Vzorky byly následně podrobeny **dendrochronologickému měření** ke zjištění poměrného zastoupení jarního a letního dřeva.

Po provedení semi-destruktivních zkoušek následovalo rozřezání jednotlivých vzorků na zkušební tělíska (136 těles o velikosti 30x30x60 mm), změření a zaznamenání jejich rozměrů a hmotnosti a poté byla provedena **druhá série měření**:

- **normové zkoušky** pro stanovení hustoty dřeva ČSN 49 0108 a pevnosti v tlaku napříč vláken ČSN 49 0112.

3.2 Diagnostické metody

Diagnostickými metodami použitými pro hodnocení stavu dřeva byly odporový zarážecí přístroj Pilodyn 6J Forest a nový penetrační přístroj vyvinutý ve spolupráci UTAM AV ČR a MZLU pro měření mechanického odporu dřeva při zatlačování trnu a vytahování vrutu. Z laboratorních zkoušek byla zvolena zkouška pro stanovení hustoty dřeva ČSN 49 0108 a zkouška pevnosti dřeva v tlaku napříč vláken ČSN 49 0112. U všech zkušebních těles bylo navíc dendrochronologicky zjištěno poměrné zastoupení jarního a letního dřeva ve vzorcích a také pro jednotlivé diagnostické metody.

3.2.1 Odporové zarážení trnu

Přístroj Pilodyn 6J Forest je jednoduché mechanické zařízení umožňující měřit hloubku průniku trnu vystřeleného do dřeva při konstantní zarážecí síle 6J. Měření hloubky průniku trnu proběhlo na všech 84 zkušebních vzorcích (viz souhrn výsledků **Příloha 3**) a jednotlivé naměřené hodnoty byly zaznamenány do tabulky (**Tab. 3-1**). Během samotného měření byl kladen důraz na to, aby nebyl trn vstřelen v místech suků, trhlin nebo otvorů způsobených dřevokazným hmyzem a nedocházelo tak ke zkreslení naměřených výsledků. Neméně důležitou podmínkou měření bylo dodržení směru penetrace hrotu kolmo na střídající se letokruhy.

Tab. 3-1 Odporové zarážení trnu – řez č.1.

Odporové zarážení trnu - Pilodyn 6J Forest			
Zkušební vzorek	Celková délka úseku mm	Hloubka zarážení trnu mm	Hustota ρ_{12} kg/m ³
SM-S-1	154	10,5	445
SM-J-1	193	11,5	418
SM-V-1	197	10,0	459
SM-Z-1	146	12,5	392

Pro zjištění hustoty konstrukčního dřeva na základě měření vlhkosti a hloubky vniku trnu do dřeva byl použit vztah:

$$\rho_{12} = -0,027102 t_{p,12} + 0,727987$$

$$t_{p,12} = t_p (1 - 0,007 \Delta w)$$

$$\Delta w = w - 12$$

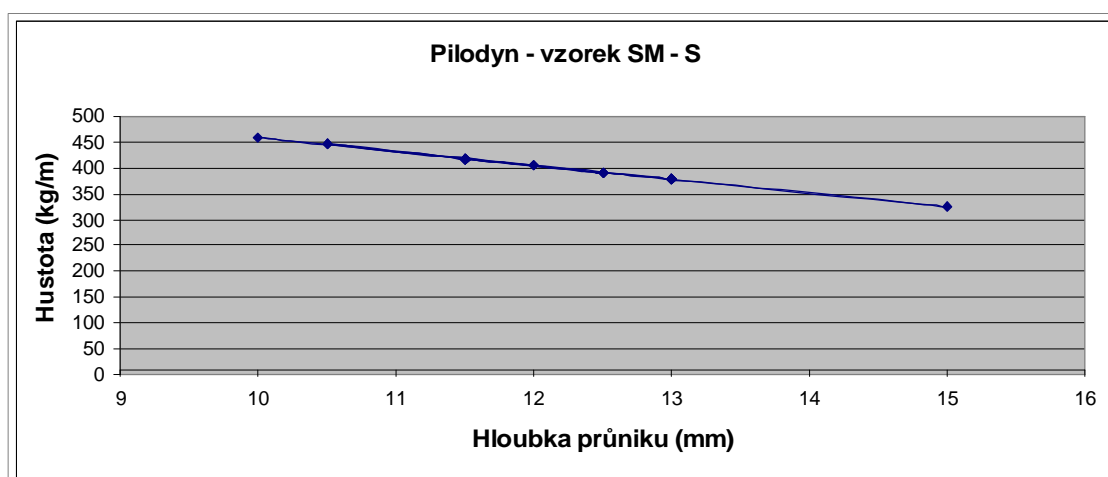
kde: ρ_{12} – hustota dřeva při vlhkosti 12% [kg.m⁻³]

$t_{p,12}$ – hloubka zarážení trnu do dřeva o vlhkosti 12% [mm]

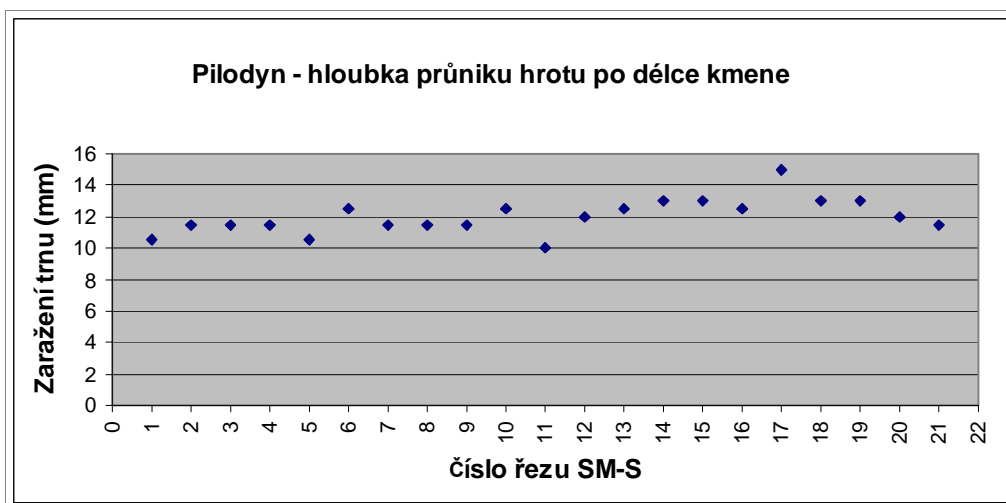
t_p – hloubka zarážení trnu do dřeva o známé vlhkosti [mm]

w – vlhkost dřeva v době měření [12 %]

Z naměřených hodnot a grafů byla patrná lineární závislost mezi zvětšením hloubky průniku hrotu odporového přístroje v důsledku klesající hustoty dřeva (**Obr. 3-2**), stejně tak jako rostoucí hodnoty průniku hrotu do zkušebních vzorků po délce kmene (**Obr. 3-3**).



Obr. 3-2 Graf závislosti hloubky průniku hrotu a hustoty dřeva pro řez SM-S-1 až SM-S-21.



Obr. 3-3 Graf vyjadřující hloubku průniku hrotu po délce kmene – pro řez SM-S-1 až SM-S-21

3.2.2 Odporové zatlačování trnu a vytahování vrutu

Měření pomocí univerzálního mechanického přístroje proběhlo na Ústavu nauky o dřevě MZLU ve spolupráci s Ing. Michalem Kloibrem. Po upevnění přístroje ke zkušebnímu vzorku pomocí válečkového řetězu byl kolmo k základně přes ozubené kolo obouručně vtlačován trn pomocí dvou proti sobě uložených.



Během měření byla průběžně snímána síla působící při vtlačování trnu a jeho vytahování. Následnou výměnou trnu za háček byl přístroj uzpůsoben k měření síly potřebné na vytažení vrutu o průměru 4 mm zašroubovaného do hloubky 18 mm. Zpracování a uložení dat získaných během měření zajišťoval měřicí program v počítači.

Obr. 3-4 Univerzální přístroj pro měření mechanického odporu

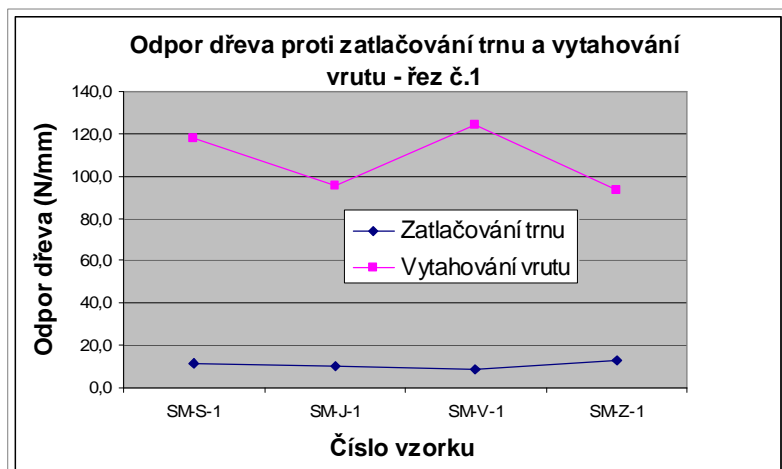
Touto novou penetrační metodou byly získány pracovní diagramy odpovídající záznamu síly vztažené k posuvu trnu, hodnoty ploch pod jednotlivými křivkami, čas a hloubky vniku trnu a maximální síly pro vytažení vrutu délky 18 mm ze zkušebního vzorku (viz souhrn výsledků **Příloha 3**). Výsledky měření pro řez č.1 jsou uvedeny v **Tab. 3-2**.

Hodnoty odporu dřeva proti zatlačování trnu/vytahování vrutu byly vypočteny z podílu maximální síly a hloubky vniku / délky vrutu.

. Tab. 3-2 Výsledky měření zatlačování trnu a vytahování vrutu pro řez č.1.

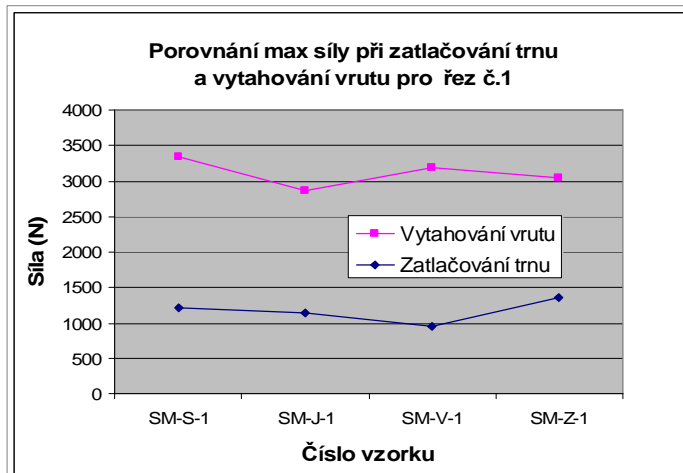
Zatlačování trnu						Vytahování vrutu		
Označení vzorku	Hloubka vniku	Čas	Plocha pod křivkou	Max síla při zatlačování	Odpor dřeva proti zatlačování	Označení vzorku	Max síla při vytahování	Odpor dřeva proti vytahování
	mm	s	N*mm	N	N/mm		N	N/mm
SM-S-1	104,45	9,93	84793,47	1217,78	11,66	SM-S-1	2115,56	117,53
SM-J-1	112,35	9,42	85444,50	1141,11	10,16	SM-J-1	1713,33	95,19
SM-V-1	112,00	9,51	82448,11	960,00	8,57	SM-V-1	2235,56	124,20
SM-Z-1	107,80	8,55	95616,19	1356,67	12,59	SM-Z-1	1681,11	93,40

Na Obr. 3-5 je znázorněno srovnání odporu dřeva stanoveného z hodnot zjištěných při zatlačování trnu a následném vytahování vrutu délky 18 mm ze zkušební vzorku v řezu č.1. Odpor dřeva proti vytahování vrutu dosahoval daleko větším hodnot než při zatlačování trnu.



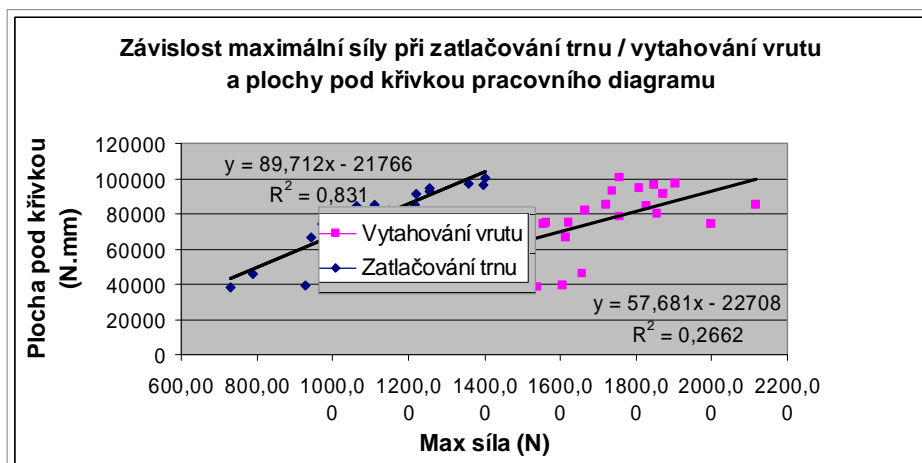
Obr. 3-5 Porovnání odporu dřeva při zatlačování trnu a vytahování vrutu pro řez č.1.

Na Obr. 3-6 je znázorněno srovnání maximální síly v řezu č.1 vztahované k posuvu při zatlačování trnu a následném vytahování vrutu délky 18 mm.



Obr. 3-6 Porovnání maximální síly při zatlačování trnu a vytahování vrutu pro řez č.1.

Na **Obr. 3-7** je znázorněna závislost sil a ploch pod křivkami pracovního diagramu získaného při zatlačování trnu/vytahování vrutu univerzálním přístrojem pro řezy SM-S-1 až SM-S-21.



Obr. 3-7 Závislost maximální síly při zatlačování trnu/ vytahování vrutu a plochy pod křivkou pracovního diagramu.

3.2.3 Dendrochronologické měření vzorků

Dendrochronologie je metoda datování dřeva založená na měření šířek letokruhů, která je určena především pro datování historických dřevěných prvků. Po ukončení odporového zkoušení byly u všech vzorků naměřeny na Ústavu nauky o dřevě MZLU na speciálním měřicím stole jednotlivé šířky letokruhů, resp. šířky jarního a letního dřeva. Tyto informace byly přenášeny přímo do počítače a následně bylo možné z těchto hodnot určit jak poměrné zastoupení jarního a letního dřeva v jednotlivých vzorcích (**Tab. 3-3**) tak poměrné zastoupení pro jednotlivé diagnostické metody a jejich případný vliv na mechanické vlastnosti dřeva (**Tab. 3-4**).

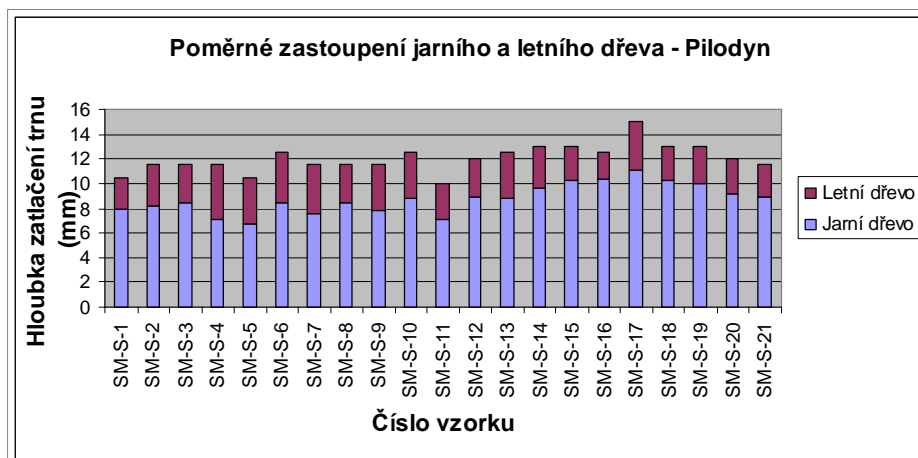
Tab. 3-3 Poměrné zastoupení jarního a letního dřeva pro řez č.1.

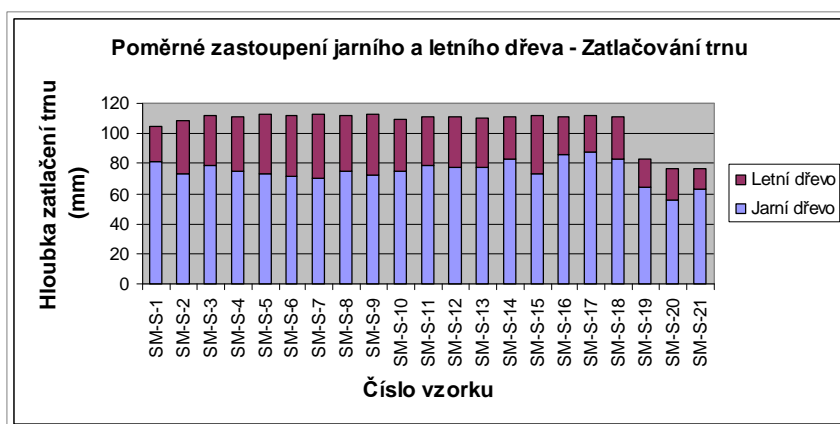
Zkušební vzorek	Celková délka	Jarní dřevo	Letní dřevo
	mm	%	%
SM-S-1	154	78	22
SM-J-1	193	77	23
SM-V-1	197	72	28
SM-Z-1	146	70	30

Tab. 3-4 Vybrané diagnostické metody a zastoupení jarního a letního dřeva pro řez č.1.

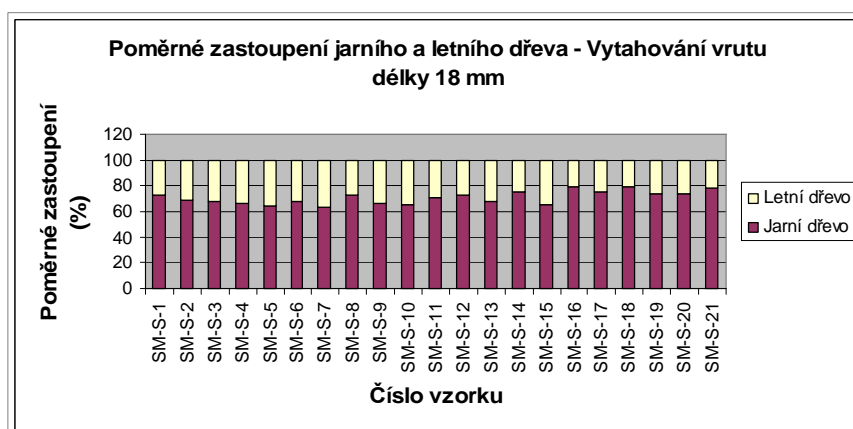
Označení vzorku	Zkušební vzorky			Pilodyn - zarážení trnu			Zatlačení trnu		
	Celková délka úseku	Jarní dřevo	Letní dřevo	Hloubka zarážení trnu	Jarní dřevo	Letní dřevo	Hloubka zatlačení trnu	Jarní dřevo	Letní dřevo
	mm	%	%	mm	%	%	mm	%	%
SM-S-1	154	78	22	10,5	76	24	104,5	78	22
SM-J-1	193	77	23	11,5	77	23	112,4	73	27
SM-V-1	197	72	28	10,0	70	30	112,0	69	31
SM-Z-1	146	70	30	12,5	69	31	107,8	70	30

Z naměřených hodnot poměrného zastoupení jarního a letního dřeva u tří vybraných diagnostických metod (odporové zarážení hrotu – Pilodyn; zatlačování trnu a vytahování vrutu pomocí univerzálního přístroje) v **Tab. 3-4** bylo zjištěno, že nižší hodnoty hloubky zarážení/zatlačení trnu odporového přístroje odpovídaly vyšším hodnotám poměru letního dřeva a bylo tak prokázáno, že rostoucí podíl letního dřeva, které má vyšší hustotu a je tudíž i tvrdší, příznivě ovlivňuje mechanické vlastnosti dřeva. A naopak větší hodnoty hloubky zarážení/zatlačení trnu odporového přístroje odpovídaly nižším hodnotám poměrného zastoupení letního dřeva.

**Obr. 3-8** Poměrné zastoupení jarního a letního dřeva v řezu SM-S-1 až SM-S-21 pro hodnoty průniku hrotu odporového přístroje Pilodyn 6J Forest.

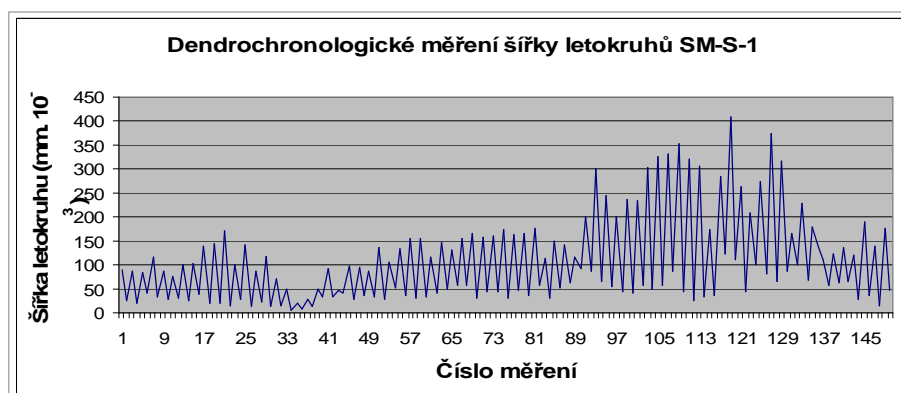


Obr. 3-9 Poměrné zastoupení jarního a letního dřeva v řezu SM-S-1 až SM-S-21 pro hodnoty průniku trnu univerzálního přístroje do vzorku.



Obr. 3-10 Poměrné zastoupení jarního a letního dřeva v řezu SM-S-1 až SM-S-21 pro hodnoty průniku vrutu délky 18 mm do vzorku.

Pomocí výsledků dendrochronologického měření bylo určeno stáří vyšetřovaného smrku na 126 let. Z důvodu velkého množství dat (84 vzorků) jsou však v **Příloze 3** uvedeny grafy měření šířek letokruhů pouze pro řez č.1, tj. SM-S-1, SM-J-1, SM-V-1 a SM-Z-1.



Obr. 3-11 Výsledky dendrochronologického měření vzorku SM-S-1.

3.2.4 Zkouška pro stanovení hustoty dřeva (ČSN 49 0108)

Podstatou této zkoušky bylo stanovení objemové hustoty dřeva z naměřených rozměrů a hmotností 136 těles o velikosti 30x30x60 mm zhotovených ze zkušebních vzorků po ukončení 1.série měření, tj. po měření mechanického odporu a dendrochronologickém měření. Tělesa byla naměřena posuvným měřidlem s přesností na 0,01 mm, hmotnost byla stanovena na elektronických vahách s přesností 0,01g. Hustota dřeva se následně stanovila dosazením naměřených hodnot do vztahu:

$$\rho_{\omega} = \frac{m_{\omega}}{a_{\omega} \times b_{\omega} \times l_{\omega}} = \frac{m_{\omega}}{V_{\omega}}$$

kde: m_{ω} hmotnost zkušební tělesa, v kg, při vlhkosti ω

$a_{\omega}, b_{\omega}, l_{\omega}$ rozměry zkušební tělesa, v m, při vlhkosti ω

V_{ω} objem zkušební tělesa, v m³, při vlhkosti ω

ρ_{ω} hustota zkušební tělesa, v kg/m³, při vlhkosti ω

Tab. 3-5 Stanovení hustoty zkušebních vzorků dle ČSN 49 0108 pro řez č. 1.

Řez	Vzorek	Rozměry zkušebních vzorků			Hmotnost	Hustota	
		Šířka	Délka	Výška		kg/m ³	kg/m ³
		mm	mm	mm	kg	kg/m ³	kg/m ³
SM-S-1	SM-S-1-1	29,90	30,29	60,06	25,70	472	475
	SM-S-1-2	30,01	30,15	59,85	25,81	477	
SM-J-1	SM-J-1-1	29,85	30,16	60,08	26,05	482	525
	SM-J-1-2	29,63	30,02	59,97	28,23	529	
SM-V-1	SM-V-1-1	29,92	30,03	59,95	28,05	521	522
	SM-V-1-2	29,74	30,03	59,80	27,00	506	
	SM-V-1-3	29,70	30,06	59,43	28,63	540	
SM-Z-1	SM-Z-1-1	29,94	30,13	59,76	29,90	555	534
	SM-Z-1-2	29,83	30,07	60,01	27,54	512	

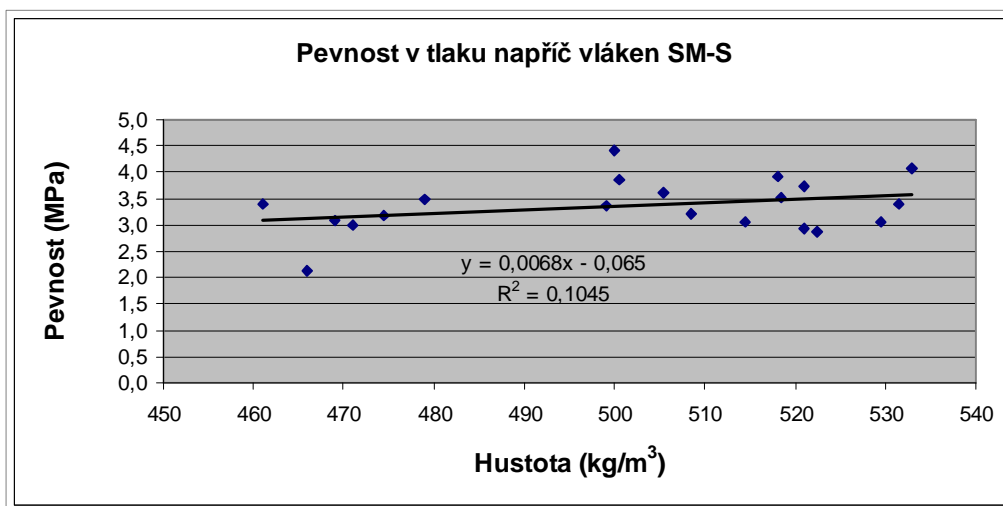
3.2.5 Normová zkouška pro stanovení pevnosti dřeva v tlaku napříč vláken (ČSN 49 0112)

Po provedení normové zkoušky pro stanovení hustoty dřeva byla zkušební tělesa zatěžována tlakem napříč vláken ve zkušebním lisu až do porušení. V průběhu zkoušky byly naměřeny pevnostní charakteristiky (pevnost, modul pružnosti v tlaku napříč vláken, deformace a napětí). Souhrn výsledků je uveden v **Příloze 3**.

Tab. 3-6 Pevnost dřeva v tlaku napříč vláken v řezu č.1.

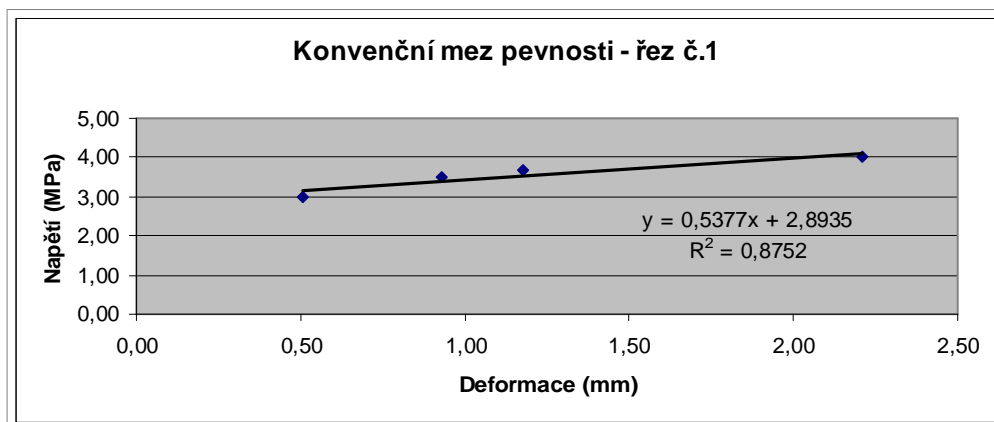
Řez	Vzorek	Pevnostní parametry							
		E_{mod}		Pevnost		Deformace		Napětí	
		MPa	MPa	MPa	MPa	mm	mm	MPa	MPa
SM-S-1	SM-S-1-1	644	773	2,95	3,19	0,78	0,51	3	3,00
	SM-S-1-2	902		3,43		0,23		3	
SM-J-1	SM-J-1-1	1090	1020	4,75	4,68	0,86	2,21	4	4,00
	SM-J-1-2	950		4,60		3,56		4	
SM-V-1	SM-V-1-1	844	936	4,04	3,99	1,06	1,18	4	3,67
	SM-V-1-2	738		3,33		0,96		3	
	SM-V-1-3	1226		4,61		1,51		4	
SM-Z-1	SM-Z-1-1	563	704	3,08	3,41	1,02	0,93	3	3,50
	SM-Z-1-2	844		3,74		0,84		4	

Na **obr. 3-12** je zobrazena závislost hustoty a pevnosti dřeva zjištěných z normových zkoušek.



Obr. 3-12 Vzájemná závislost hustoty a pevnosti dřeva pro řez SM-S-1 až SM-S-21.

Na **obr. 3-13** je zobrazena konvenční mez pevnosti z výsledků měření pro řez č. 1.



Obr. 3-13 Graf vyjadřující konvenční mez pevnosti

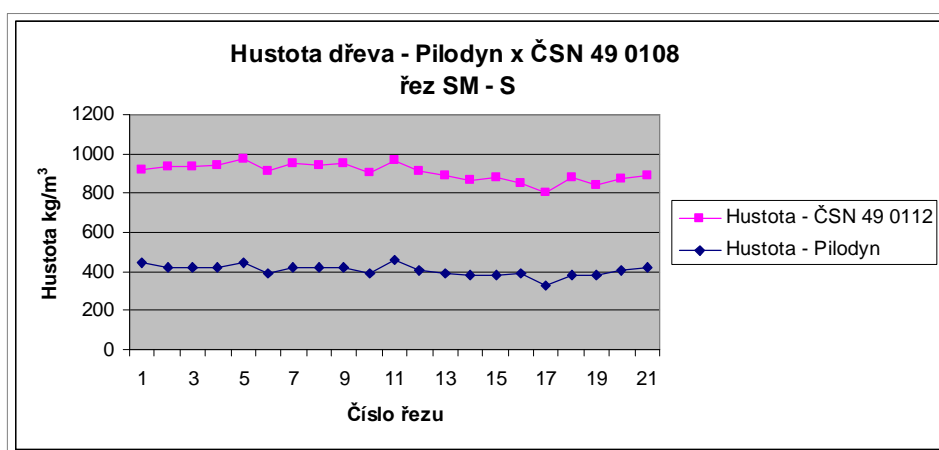
3.3 Vyhodnocení výsledků měření

Experimentální měření této diplomové práce bylo provedeno na vzorcích odebraných z jednoho druhu jehličnatého dřeva – smrku ztepilého. Na zkušebních tělesech, která nevykazovala žádná poškození, která by mohla zkreslit výsledky měření, byly aplikovány semi-destruktivní diagnostické metody založené na měření mechanického odporu dřeva a následně byly statisticky vyhodnoceny tyto získané výsledky v porovnání se standardními destruktivními laboratorními zkouškami.

Materiálové vlastnosti zkoušeného smrkového dřeva a jejich průměrné charakteristické hodnoty zjištěné z laboratorního měření odpovídají dle EN 338 pro rostlé jehličnaté dřevo třídy C 22. (**Tab. 33 Příloha 3**)

Odporové zarážení trnu přístrojem Pilodyn 6J Forest

Měření přístrojem Pilodyn se osvědčilo jako velmi jednoduchá a rychlá metoda ke zjištění hustoty zkoušeného vzorku. V porovnání se zkouškou Stanovení hustoty dřeva dle ČSN 49 0108 byly Pilodynem získány výrazně nižší hodnoty (**Obr. 3-14**). Důvodem je podle mého názoru nižší pevnost povrchové vrstvy dřeva u zkušebních vzorků, neboť maximální hloubka vniku hrotu je omezena konstrukcí přístroje na 40 mm. Přesto se mi tato metoda jeví pro orientační zjištění hustoty při průzkumech dřevěných konstrukcí jako dostačující.



Obr. 3-14 Porovnání hustoty zjištěné z měření odporového zarážecího přístroje a normové zkoušky pro výpočet hustoty dřeva pro řez SM-S-1 až SM-S-21

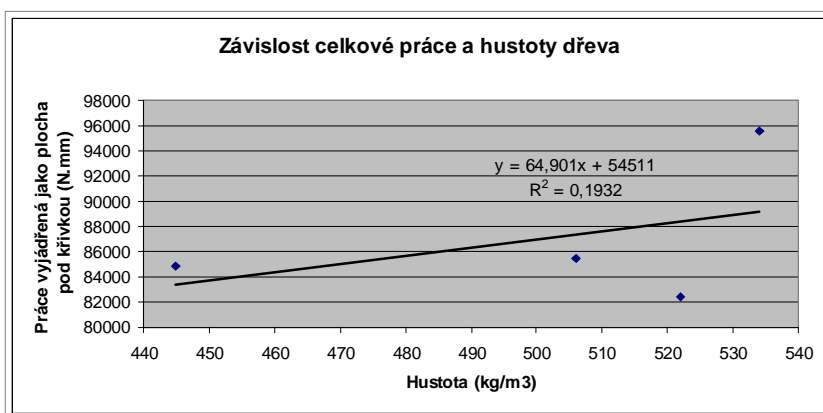
Odporové zatlačování trnu a vytahování vrutu

Měřením pomocí univerzálního přístroje byl ze záznamu snímání síly působící při vtlačování trnu / vytahování vrutu délky 18 mm získán přehled o vnitřní struktuře v jednotlivých vzorcích. Hlavním výsledkem měření této nové metody byly hodnoty maximální síly a odporu dřeva a plochy pod křivkou pracovního diagramu.

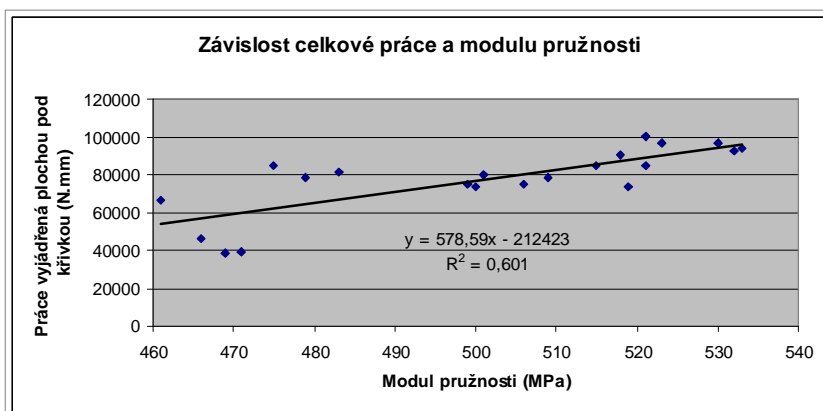
Při vyhodnocování měření jsem vycházela z předpokladu, že plocha pod křivkou pracovního diagramu zkušební tělesa je rovna celkové práci vykonané při zatlačování trnu [8] a vyhodnotila jsem závislost s jednotlivými parametry (Tab. 3-7).

Tab. 3-7 Souhrn hodnot měření pro řez č. 1.

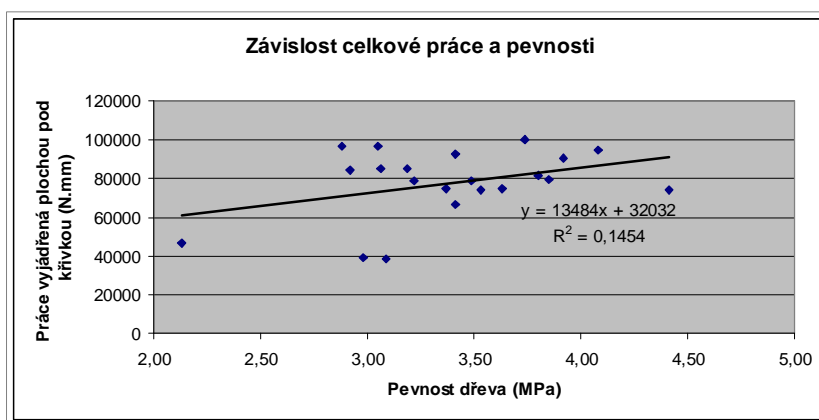
Označení vzorku	Plocha pod křivkou	Hustota	E_{mod}	Pevnost
	N.mm	kg/m ³	MPa	MPa
SM-S-1	84793,47	445	475	3,19
SM-J-1	85444,50	506	1020	4,68
SM-V-1	82448,11	522	936	3,99
SM-Z-1	95616,19	534	704	3,41



Obr. 3-15 Závislost celkové práce a hustoty stanovené dle ČSN 49 0108 pro řez č.1.



Obr. 3-16 Závislost celkové práce a pevnosti dřeva stanovené dle ČSN 49 0112 pro řez SM-S-1 až SM-S-21



Obr. 3-17 Závislost celkové práce a modulu pružnosti dřeva stanovené dle ČSN 49 0112 pro řez SM-S-1 až SM-S-21

Metoda vytahování vrutu, která zkoumala povrchovou vrstvu vzorku dřeva, nám poskytla výrazně vyšší hodnoty odporu dřeva než při zatlačování trnu a to je v rozporu s hodnotami naměřenými Pilodynem.

Ani výsledky naměřené metodou zatlačování trnu neposkytly průkazné hodnoty hustot v jednotlivých řezech a nebylo tak možné přímé srovnání se zářezecím přístrojem Pilodyn ani se zkouškou pro stanovení hustoty ČSN 49 0112. Vyhodnocovala jsem tedy závislosti celkové práce, která je vyjádřena jako plocha pod křivkou pracovního diagramu zaznamenanou během měření zatlačování trnu a různých pevnostních parametrů. Čím mělo dřevo větší hustotu, tím lépe odolávalo zatlačování. Stejně tak s rostoucí pevností dřeva se spotřebovalo více celkové práce. Tomuto tvrzení však výrazná většina hodnot neodpovídala.

Dle mého názoru byl příčinou těchto neprůkazných hodnot ruční pohon zatlačování trnu do vzorku a tudíž zkreslené hodnoty ploch pod křivkou a maximálních síl. Při samotném měření prováděném diagnostikem se totiž nedá docílit konstantního rovnoměrného zatlačování trnu. Při průniku trnu přes část vzorku s větší hustotou (např. přes suk) je diagnostikem přirozeně a neúmyslně vynaložena větší síla, která však celé měření zkreslí.

Je třeba zvážit, zda by se nebylo lepší variantou použití konstantního zatlačování trnu prostřednictvím přístroje s elektrickým pohonem, který by konstantní silou zatlačoval trn do zkušební vzorku. Hodnoty naměřené tímto způsobem by tak charakterizovaly skutečný odpor dřeva v konkrétním místě průřezu, který je ovlivněn letokruhy, sukem a jinými anomáliemi a poruchami dřeva.

Na základě vyhodnocení výsledků měření, které neposkytly průkazné hodnoty ke stanovení kvality dřeva, shledávám tuto novou metodu pro hodnocení dřevěných prvků jako nedostačující.

4. STAVEBNĚ - TECHNICKÝ PRŮZKUM HAMBALKOVÉHO KROVU BAROKNÍ REZIDENCE V ŠARDICÍCH [3]

4.1 Základní informace o objektu

Budova rezidence je kulturní památkou barokního slohu, která je architektonicky a umělecky hodnotnou stavbou patřící mezi dominanty obce Šardice. Budova byla přestavěna v letech 1740-1742 z budovy bývalé sýpky na reprezentační sídlo brněnských augustiniánů. Sloužila jak pro ubytování hospodářského inspektora šardického statku, který se nachází naproti rezidenci, tak jako letovisko mnichů a vyšších klášterních hodnostářů. V posledním desetiletí byl tento objekt v užívání bývalého zemědělského družstva, nyní firmy Agropodnik. Půdní prostory tak byly využívány ke skladování obilovin a z části i jako holubník.



Obr. 4-1 *Pohled na jižní stranu barokní rezidence v Šardicích [3]*

Rezidence je cihelná dvoupatrová budova obdélníkového tvaru o půdorysných rozměrech 38 x 11 m, je orientována severovýchodním směrem. Objekt je uložen a zděných základových pasech uložených na dřevěném základovém roštu a pilotách.

4.2 Stavebně - technický průzkum

Objekt rezidence má **sedlovou střechu** s náběhy, která je v příčném směru ukončena polovalbami. Štít je vyzděn z cihel plných pálených a jsou v něm umístěn dva okenní otvory. Zděný štít se ze statického hlediska nepovažuje za součást krovové konstrukce, i když jsou na něm v našem případě uloženy vaznice krovu. Dle původní výkresové dokumentace je sklon krokví střechy 50° .



Obr. 4-2 *Sedlová střecha rezidence s náběhy [3]*

Do prostoru střešní konstrukce jsou vyvedena dvě komínová tělesa s vyzděnými náběhy. Obě tělesa jsou po částečné rekonstrukci. Dalšími prvky střešní konstrukce jsou 4 hromosvody osazené na krokách krovu a 4 nové střešní vikýře.

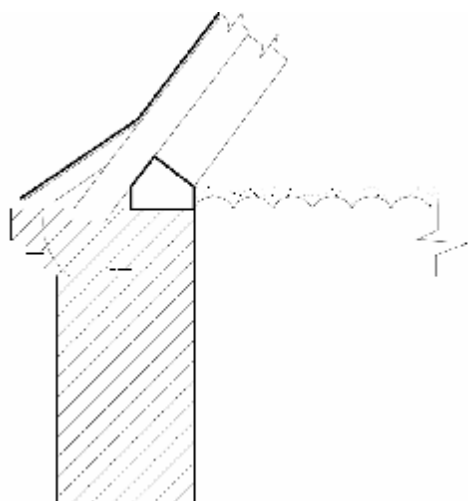
Krytina je původní keramická pálená taška bobrovka zakončená půlkruhem. Barva tmavě červená s matným povrchem. Jednotlivé bobrovky jsou skládány šupinově na husté latě. Oplechování je provedeno na koruně štítů, u vikýřů a kolem komínových těles. Kolem komínů je stávající krytina vyměněna za novodobou bobrovku částečně odpovídající původní barvě.

Objekt má **hambalkový krov** s ležatou stolicí doplněný svislými středovými sloupky. Rozpětí krovu je 11 m a výška krovu je 6 m. Pro tento typ podélně vázaného krovu je charakteristické, že stolice podélného vázání v něm tvoří samostatnou konstrukci spočívající na vazných trámecích v plných vazbách. Výhoda spočívá v ulehčení vazného trámu a uvolnění prostoru ve spodní části krovu (**Obr. 4-3**).



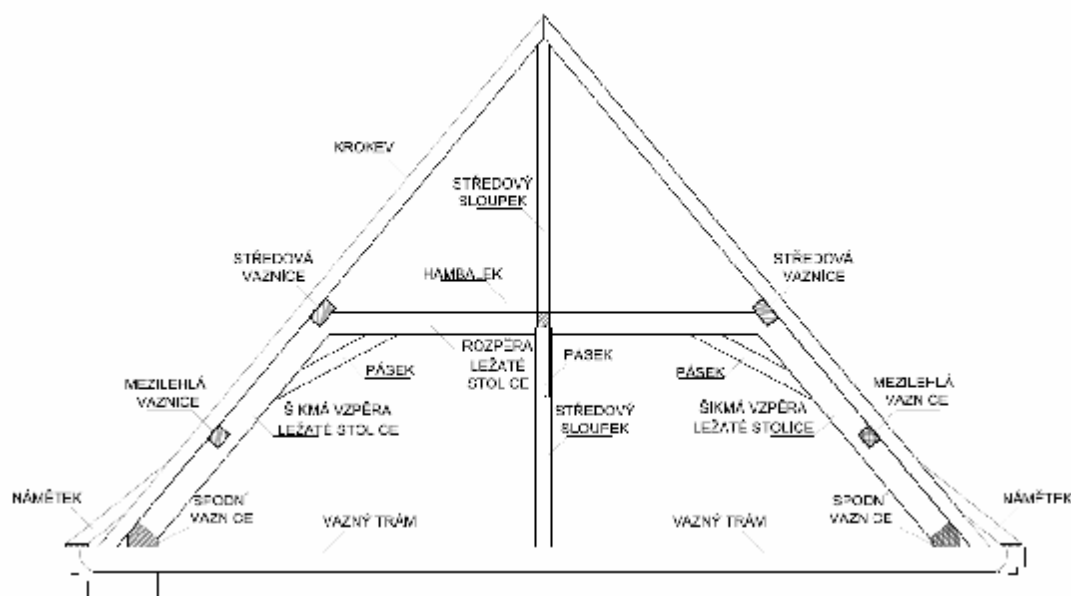
Obr. 4-3 *Hambalkový krov s ležatou stolicí se svislými středovými sloupky, 3D vizualizace*

Krov má 10 vazeb plných. Mezi dvěma krajními plnými vazbami jsou umístěny 2 jalové vazby, v ostatních případech jsou 3 jalové vazby. Osová vzdálenost jednotlivých krokví je 1 m. Funkci příčného ztužení a tím zachycení vodorovné síly plné zazděná zhlaví, pozednice a vaznice nesená plnou vazbou, hambalek a jeho podepření pásky. Zavětrování zajišťují ondřejské kříže mezi dvěma krajními plnými vazbami a v ostatních případech diagonály.



Obr. 4-4 Zazděná pozednice a zhlaví vazného trámu [16]

Konstrukce krovu s **ležatými stolicemi** s jednou úrovní hambalku je vyspělou formou tohoto typu kroevní soustavy. Mezi šikmými sloupky stolice je rozpěra, která je do nich zapuštěna a nad ní je uložen hambalek. Hambalek není s se stolicí nijak tesařsky provázán. Pásky jsou do šikmých sloupků a rozpěr zapuštěny pomocí dřevěných kolíků. Dle výkresové dokumentace a literatury můžeme předpokládat dobové charakteristické uložení ležaté stolice se zazděnými pozednicemi a zhlavím trámů. **Hambalky** se nacházejí v každé vazbě. Pravděpodobně jsou spojeny s krokvi na rybinový plát a styk tak může být namáhán tahem i tlakem. U komínových těles je provedena výměna hambalků.



Obr. 4-5
Hambalkový
krov s ležatou
stolicí; řez

Krokve jsou uloženy do vazných trámů, které jsou ukončeny na zdi. Krokve jsou čepovány do vazného trámu, šikmé sloupky stolice čepovány do pětiboké vaznice kámpované na vazný trám. Římsa je zděná, zasahuje do ní přesah vazného trámu nezbytný kvůli zachycení vodorovné síly od krokve.

Krokve jsou zhotoveny z profilu 140 x 170 mm. Jsou čepovány do vazných trámů. Ve vrcholu jsou stykovány pravděpodobně na jednoduchý plát. Střední sloupky u plných vazeb jsou ve vrcholu zapuštěny do krokví. Valbové krokve jsou kratší a jsou lípané na krokve nárožní. U komínových těles jsou viditelné výměny krokví. Jsou to vodorovné trámky mezi krokvemi určené pro uložení zkrácených krokví.



Obr.4-6 Čepování krokve do vazného trámu [3]



Obr. 4-7 Stykování krokví ve vrcholu [3]

Latě jsou zhotoveny z měkkého dřeva o profilu 30 x 50 mm. Vzdálenost jednotlivých latí je 160 mm. S výměnou části krytiny proběhla i výměna latí.

Námětky o rozměrech 80 x 120 mm jsou horním koncem lípnuty na krokve a spodním koncem opřeny o prkno položené na římsu a překrývají tak část římsy mezi koncem krokve a okapem.



Obr. 4-8 Střešní latě a šupinové skládání krytiny[3]



Obr. 4-9 Námětky [3]

Vnitřní vaznice jsou zhotoveny z profilu 140 x 170 mm. Přenášejí zatížení od krokví prostřednictvím hambalků do sloupků. Vaznice jsou do sloupků čepovány pomocí dřevěných kolíků.

Středové sloupky jsou zhotoveny z profilu 185 x 220 mm. Podpírají hambalky a přenášejí tak zatížení do vazných trámů.



Obr. 4-10 Středový sloupek 13]

Střední vaznice je zhotovena z profilu 160 x 280 mm. Je nesena ležatou stolicí. Přebírá svislé zatížení od krokví, proto má také největší profil. Je součástí podélného ztužení. Opírají se do ní ondřejské kříže a diagonály.

Mezilehlá vaznice je zhotovena z profilu 160 x 200 mm. Nachází se mezi vaznicí střední a spodní. Je součástí vodorovného ztužení. Je plátována s ondřejskými kříži a diagonálami, je čepována do šikmých sloupků ležaté stolice. Není zatížena krokve.

Spodní pětiboká vaznice má pětiboký profil. Je uložena na vazné trámy a opírají se do ní šikmé sloupky ležaté stolice. Dle výkresové dokumentace je tato vaznice podezděna, zhlaví vazných trámů jsou zazděna, a proto má tato spodní vaznice totožnou funkci i polohu s pozednicí. Jsou do ní čepovány ondřejské kříže a diagonály.



Obr. 4-11 Pohled na střední, mezilehlou a spodní vaznici 13]

Vazné trámy jsou profilu 250 x 280 mm. Jsou to nosné prvky, zachycující vodorovnou sílu, přenášející zatížení od sloupků a vzpěr na zdivo, jsou do nich ukládány krokve. Vazné trámy se nacházejí jen u vazeb plných. Vazné trámy jsou uloženy na pozednice na obvodových zdech, které jsou dle výkresové dokumentace zazděny.



Obr. 4-12 Konstrukce podlahy, základ 13]

4.3 Zjištěné vady a poruchy

Během podrobného průzkumu nebyly zjištěny nadměrné deformace ani průhyby konstrukce krovu. Krov však vykazoval několik závažných poruch. Podrobná fotodokumentace jednotlivých prvků konstrukce krovu je obsažena v **Příloze 3**.

V objektu byla naměřena vlhkost dřeva s cílem zjistit, zda jsou v objektu podmínky vhodné pro výskyt biotických činitelů. V **Tab. 4-1** jsou uvedeny průměrné vlhkosti dřeva pro jednotlivé prvky. Průzkum byl proveden 26. února 2009. V prostorách krovu byla naměřena teplota 2°C.

Tab. 4-1 Průměrné vlhkosti dřeva

Prvek	Místo	Vlhkost dřeva (%)
šikmá vzpěra	2. plná vazba	57
střední sloupek		57
šikmá vzpěra	4. plná vazba	54
střední sloupek		55
šikmá vzpěra	6. plná vazba	56
střední sloupek		56
šikmá vzpěra	8. plná vazba	58
střední sloupek		58
šikmá vzpěra	10. plná vazba	58
střední sloupek		58

Přímé napadení dřevokaznými houbami nebylo na konstrukci doposud zjištěno, ale takto vysoké hodnoty vlhkosti vytváří dobré podmínky pro růst dřevokazných hub. Dřevo působením těchto hub měkne, drobí se a ztrácí svou pevnost. Na konstrukci krovu se negativně projevilo zejména zatékání vody do konstrukce poškozením střešního pláště. Při hašení požáru v posledních letech způsobeného od provozu komínového tělesa totiž došlo k porušení původní střešní krytiny, která se projevila netěsností jednotlivých bobrovek.



Obr. 4-13 Zatékání střešní krytinou 13]



Obr. 4-14 Požárem poškozená část krovu 13]

Na některých prvcích krovu však byly navíc znatelné pohledem i poklepem poruchy způsobené **dřevokazným hmyzem**. Na **Obr. 4-16** je zachycen tesařík krovový a jeho výletové otvory. V několika případech již došlo k významnému oslabení profilů prvků krovu požerky a k narušení spojů.



Obr. 4-15 *Hambalek poškozený požerky 13]*



Obr. 4-16 *Tesařík krovový a jeho výletové otvory 13]*

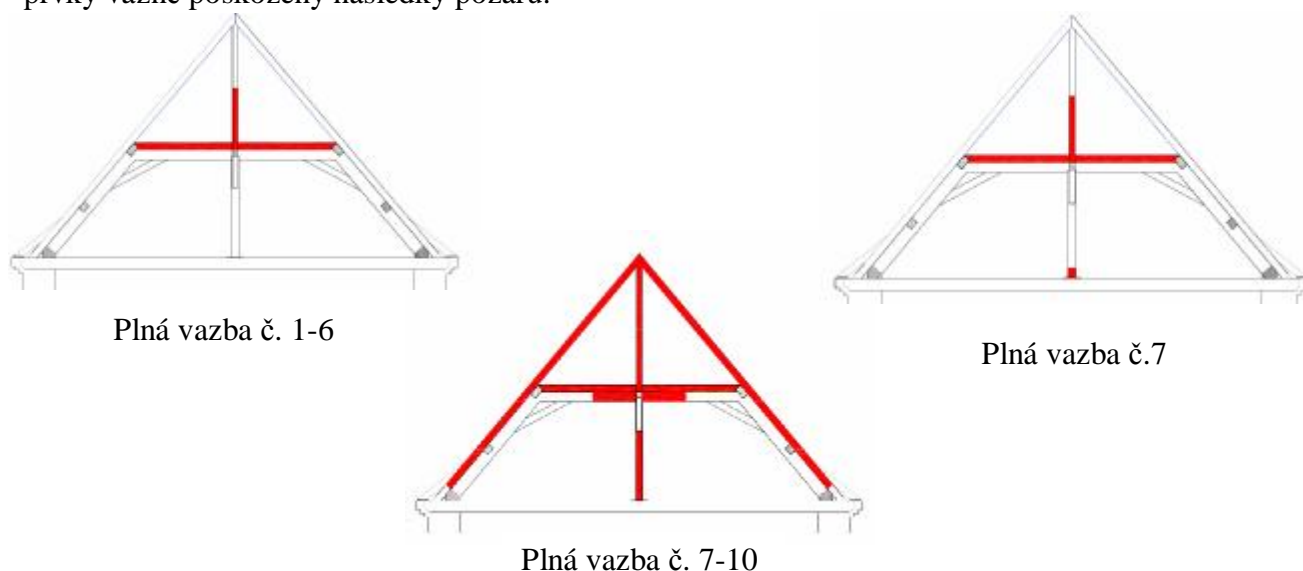
4.4 Zhodnocení stavebně-technického stavu krovu [16], [21], [22]

Rezidence v Šardicích je významnou kulturní památkou a při návrhu sanace bude třeba zachovat původní konstrukční systému a maximální možný počet původních dřevěných prvků nebo jejich nepoškozených částí.

Při prvotní pohlídce byla potvrzena přítomnost dřevokazného hmyzu - tesaříka krovového a vysoké hodnoty vlhkosti dřeva. Při menším napadení dřeva hmyzem je vhodné provést zásah insekticidním prostředkem, který hmyz při kontaktu usmrtí a zároveň zajistí preventivní ochrana prvku. Při větším napadení je možné dřevokazný hmyz odstranit horkým vzduchem, zaplňováním, ozařováním nebo chemickými prostředky. V souvislosti s vysokými hodnotami vlhkosti dřeva, se často vyskytuje hniloba, která byla během průzkumu odhalena jen v části zasažené požárem, ale při zvýšení teploty vzduchu ji lze předpokládat i jinde. Nejvíce ohroženy jsou především zadržaná zhlaví vazných trámů a místa průniku dešťové vody do podkroví z důvodu poškození střešního pláště a to především u horních částí krokví pod hřebenem.

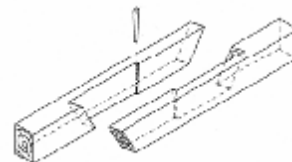
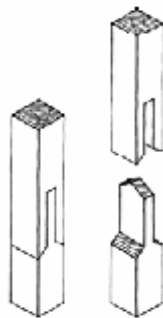
Hlavním bodem konstrukční sanace tedy bude v 1. fázi zabránit dalšímu působení tesaříka krovového chemickými prostředky, následovat bude výměna poškozeného střešního pláště a konstrukčních prvků vazeb. Další postup spočívá v preventivním ošetření nově vestavěných prvků vhodným chemickým prostředkem pomocí postřiku a nátěru.

Na základě statického posouzení konstrukčního prvku plné vazby (viz 4.5) byla navržena jeho celková výměna. Na **Obr. 4-17** jsou barveně znázorněny u plné vazby č. 1-6 silně porušené hambalky a středové sloupky požerky tesaříka, v plné vazbě č.6 je navíc poškozeno dřevěné podložení středového sloupku a mezi plnými vazbami 7-10 jsou jednotlivé prvky vážně poškozeny následky požáru.



Sanace dřevěných konstrukcí krovu se provádí pomocí:

- **Protézování** – proces, při kterém se poškozená část nahrazuje novou bez změny průřezu. Poškozená část se odřeže v takovém tvaru, aby bylo možno napojit protézu (novou část). Stojaté prvky je vhodné provést spojem na ostřih a čep se špicí, prvky vodorovné pak plátem.



Obr. 4-18 *Rovný plát [22]* **Obr. 4-19** *Ostřih a čep se špicí[21]* **Obr. 4-20** *Zubový plát[21]*

- **Příložkování** – zvětšení průřezu prvku přiložením nového trámu (z jedné či obou stran). Dřevěné nebo ocelové příložky se připojí k původním zdravým prvkům pomocí svorníků či jiných připojovacích prvků.
- **Výměna** – u nevratně poškozených prvků.

4.5 Statické posouzení konstrukčního prvku hambalkového krovu

Pro posouzení konstrukčního prvku krovu byl vybrán **hambalek** jalové vazby o průřezu 140 x 175 mm, celkové délky 5,5 m. Tento trám je z jedlového dřeva a je umístěn v prostředí, ve kterém byla naměřena vlhkost dřeva 54%. Hambalek je zatížen střednědobým návrhovým rovnoměrným zatížením 12 kN/m. Odporovým zarážecím přístrojem Pilodyn 6J Forest byly naměřeny hodnoty průniku trnu v řezu T1 - 2,5 m, T2 - 5 m, T3 - 7,5 m v částech hambalku, kde nebylo při prvotním ohledání viditelné přímé napadení biologickými škůdci a byly zjištěny tyto hodnoty:

Tab. 1 Charakteristické hodnoty pevnosti

Řez	Hustota	Třída	$f_{m,k}$	$f_{v,k}$	$E_{0,05}$
	kg/m ³		MPa	MPa	MPa
T1	291	C14	14	3,0	4700
T2	295	C14	14	3,0	4700
T3	313	C16	16	3,2	5400

Charakteristické hodnoty tuhosti a pevnosti byly stanoveny na základě normy EN 338 Zásady navrhování konstrukcí- Hodnocení existujících konstrukcí pro konstrukční dřevo jehličnatých dřevin.

Posuzovaný hambalek, který se zdál v relativně dobrém stavu v porovnání s ostatními prvky silně napadenými dřevokazným hmyzem, jsem dle nízkých hodnot hustot získaných odporovým měřením zatřídila do nejnižší konstrukční třídy C 14. Z tohoto důvodu nevyhověl posudek na normálové napětí za ohybu, a to v případě jeho zajištění částečně i po celé délce proti příčné a torzní stabilitě. Výpočet prokázal nutnost výměny hambalku za nový prvek a to po celé jeho délce.

Posouzení vazného trámu na ohyb a smyk – řez T1 - 2,5 a T2 - 5

Návrhová pevnost v ohybu a ve smyku:

$$f_{m,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{m,k}}{g_M} = 0,8 \frac{14,0}{1,3} = 8,61 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{v,k}}{g_M} = 0,8 \frac{3,0}{1,3} = 1,85 \text{ MPa}$$

a) Normálové napětí za ohybu (trám je po celé délce zajištěn proti příčné a torzní nestabilitě)

$$s_{m,d} \leq f_{m,d}$$

Normálové napětí za ohybu

$$s_{m,d} = \frac{M_d}{W} = \frac{1}{8} \frac{q_d l^2}{W} = \frac{1}{8} \frac{12 \cdot 5500^2 \cdot 6}{140 \cdot 175^2} = 79,37 \text{ MPa} > 8,61 \text{ MPa}$$

Prvek na ohyb nevyhoví.

b) Normálové napětí za ohybu (trám není po celé délce zajištěn proti příčné a torzní nestabilitě)

$$s_{m,d} \leq k_{\text{crit}} \cdot f_{m,d}$$

Kritické napětí za ohybu

$$s_{m,\text{crit}} = \frac{0,78 b^2 E_{0,05}}{W} = \frac{0,78 \cdot 175^2 \cdot 4700}{140 \cdot (0,9 \cdot 5500 + 400)} = 149,90 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost

$$I_{\text{rel},m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{s_{m,\text{crit}}}} = \sqrt{\frac{14,0}{149,90}} = 0,31$$

Součinitel příčné a torzní stability

$$k_{\text{crit}} = 1,56 - 0,75 I_{\text{rel},m} = 1,56 - 0,75 \cdot 0,31 = 1,33$$

Redukovaná návrhová pevnost

$$k_{\text{crit}} \cdot f_{m,d} = 1,33 \cdot 8,61 = 11,47 \text{ MPa}$$

Normálové napětí za ohybu

$$s_{m,d} = \frac{M_d}{W} = \frac{1}{8} \frac{q_d l^2}{W} = \frac{1}{8} \frac{12 \cdot 5500^2 \cdot 6}{175 \cdot 140^2} = 79,37 \text{ MPa} < 11,47 \text{ MPa}$$

Prvek na ohyb nevyhoví.

c) Smykové napětí

$$t_{v,d} \leq k_{cr} \cdot f_{v,d}$$

$$k_{cr} \cdot f_{v,d} = 0,67 \cdot 1,85 = 1,24 \text{ MPa}$$

$k_{cr} = 0,67$ součinitel zohledňující vliv výsušných trhlin v případě rychlého vysušení dřeva

$$t_{v,d} = \frac{3V_d}{2A} = \frac{3 \cdot 33 \cdot 5500}{2 \cdot 175 \cdot 140} = 0,108 \text{ MPa} < 1,24 \text{ MPa}$$

Prvek na smyk vyhoví.

Posouzení vazného trámu na ohyb a smyk – řez T3 – 7,5

Návrhová pevnost v ohybu a ve smyku:

$$f_{m,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{g_M} = 0,8 \frac{16,0}{1,3} = 9,86 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{v,k}}{g_M} = 0,8 \frac{3,2}{1,3} = 1,96 \text{ MPa}$$

a) Normálové napětí za ohybu (trám je po celé délce zajištěn proti příčné a torzní nestabilitě)

$$s_{m,d} \leq f_{m,d}$$

Normálové napětí za ohybu

$$s_{m,d} = \frac{M_d}{W} = \frac{1}{8} \frac{q_d l^2}{W} = \frac{1}{8} \frac{12 \cdot 5500^2 \cdot 6}{140 \cdot 175^2} = 79,37 \text{ MPa} > 9,86 \text{ MPa}$$

Prvek na ohyb nevyhoví.

b) Normálové napětí za ohybu (trám není po celé délce zajištěn proti příčné a torzní nestabilitě)

$$s_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d}$$

Kritické napětí za ohybu

$$s_{m,crit} = \frac{0,78b^2 E_{0,05}}{W} = \frac{0,78 \cdot 175^2 \cdot 5400}{140 \cdot (0,9 \cdot 5500 + 400)} = 172,22 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost

$$I_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{s_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{16,0}{172,22}} = 0,30$$

Součinitel příčné a torzní stability

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 I_{rel,m} = 1,56 - 0,75 \cdot 0,30 = 1,33$$

Redukovaná návrhová pevnost

$$k_{crit} \cdot f_{m,d} = 1,33 \cdot 8,96 = 13,11 \text{ MPa}$$

Normálové napětí za ohybu

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W} = \frac{1}{8} \frac{q_d l^2}{W} = \frac{1}{8} \frac{12 \cdot 5500^2 \cdot 6}{175 \cdot 140^2} = 79,37 \text{ MPa} > 13,11 \text{ MPa}$$

Prvek na ohyb nevyhoví.

c) Smykové napětí

$$t_{v,d} \leq k_{cr} \cdot f_{v,d}$$

$$k_{cr} \cdot f_{v,d} = 0,67 \cdot 1,96 = 1,32 \text{ MPa}$$

$k_{cr} = 0,67$ součinitel zohledňující vliv výsušných trhlin v případě rychlého vysušení dřeva

$$t_{v,d} = \frac{3V_d}{2A} = \frac{3 \cdot 33 \cdot 5500}{2 \cdot 175 \cdot 140} = 0,108 \text{ MPa} < 1,32 \text{ MPa}$$

Prvek na smyk vyhoví.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo získat přehled dřevě, jeho struktury, vlastnostech a vadách. Práce byla doplněna o přehled moderních diagnostických metod zjišťujících míru poškození a materiálové charakteristiky dřevěných prvků v konstrukcích krovů. Jednotlivé diagnostické metody byly rozděleny do kapitol podle míry inazivnosti na nedestruktivní, semidestruktivní a destruktivní. Byl popsán jejich princip a využití při praktickém průzkumu dřevěných konstrukcí.

V experimentální části nazvané Metodika hodnocení stavu dřeva pomocí měření mechanického odporu dřeva při zatlačování trnu bylo na vzorcích odebraných z rostlého smrkového dřeva provedeno měření mechanických vlastností dřeva. Diagnostickými metodami vybranými pro hodnocení byly odporový zarážecí přístroj Pilodyn 6J Forest a námi testovaný univerzální přístroj vyvinutý ve spolupráci AV ČR a MZLU na měření mechanického odporu dřeva při zatlačování trnu a vytahování vrutu. Univerzálním přístrojem pro zatlačování trnu do dřeva byly zjištěny hodnoty ploch pod křivkami zatlačování a jim odpovídající maximální síly. Těmito hodnotami ale nebylo možné stanovit hustoty v jednotlivých řezech, stejně tak jako provést srovnání se zarážecím přístrojem Pilodyn a standardní zkouškou pro stanovení hustoty dle ČSN 49 0112.

Výsledky měření získané výše uvedenými metodami byly statisticky vyhodnoceny a porovnány s fyzikálními a mechanickými vlastnostmi dřeva stanovenými normovými zkouškami. Mnohdy zavádějící výsledky naměřené univerzálním přístrojem však byly dle mého názoru ovlivněny a zkresleny ručním zatlačováním trnu do zkušebních vzorků, kterým nebylo zajištěno rovnoměrné snímání síly při zatlačování.

Na základě vyhodnocení výsledků měření univerzálním přístrojem, které však neposkytly průkazné hodnoty ke stanovení kvality dřeva, jsem shledala tuto novou metodu pro hodnocení dřevěných prvků jako nedostačující.

V praktické části nazvané Stavebně – technický průzkum hambalkového krovu v Šardicích jsem navázala na svou bakalářskou práci, ve které byla provedena prvotní prohlídka historického objektu v Šardicích. Průzkum byl doplněn o zakreslení zjištěných poruch a návrh jejich konstrukčních opatření. Na základě výsledků diagnostického měření a hodnot z něj získaných bylo provedeno statické posouzení konstrukčního prvku krovu a jeho ověření únosnosti.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ADÁMEK, J.,- NOVOTNÝ, B.,- KOUKAL, J. *Stavební materiály*. 1997. Brno: CERM, 1997, 205 s. ISBN 80-214-0631-3
- [2] ADÁMEK J. a kolektiv, *Studijní opora pro komb. st. Modul BI-M04 Keramika, dřevo, kovy a sklo*. Brno: CERM, 2004.
- [3] CIBULCOVÁ, K., *Metodika průzkumu dřevěných konstrukcí krovu*. Brno, 2010. Bakalářská práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Ing. Věra Heřmánková, PhD.
- [4] CIKRLE, P., AMBROSOVÁ, V., HAVLÍKOVÁ D., *Zkoušení stavebních materiálů. Laboratorní cvičení* 1997 Brno: VUT Brno, FAST
- [5] HEŘMÁNKOVÁ, V. *AI01 Stavební látky a geologie*. Brno: VUT Brno, FAST, Ústav stavebního zkušebnictví. Přednáška.
- [6] HEŘMÁNKOVÁ, V., KLOIBER, M., TIPPNER, J., ANTON., O. *Diagnostické metody pro hodnocení konstrukčního dřeva*. Konference zkoušení a jakost ve stavebnictví. 10. vyd. Brno: FAST VUT v Brně, 2011, s. 79-96. ISBN 978-80-214-4338-9
- [7] KLOIBER, M. *Nedestruktivní zjišťování vlastností dřeva*. Brno, 2007. Disertační práce. MZLU v Brně. Vedoucí práce Doc. Dr. Ing. Petr Horáček.
- [8] KLOIBER, M.; KOTLÍNOVÁ, M.; TIPPNER, J. *Odhad vlastností dřeva pomocí zatlačování trnu s různým tvarem penetračního hrotu*. Brno : Mendelova univerzita v Brně, 2009. 8 s.
- [9] KOLÁŘ, T., *Dendrochronologické datování a stavebně technický průzkum mlýna ve Slupi*. Diplomová práce. MZLU v Brně, 77 s.
- [10] KŘIVÁNKOVÁ, S., *Diagnostické metody pro ověření míry poškození a materiálových charakteristik dřevěných prvků*. Brno, 2011. Bakalářská práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Ing. Věra Heřmánková, PhD.
- [11] KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*. Praha : ČKAIT, 2005.

- [12] POŽGAJ A., a kolektiv, *Štruktúra a vlastnosti dreva*. Bratislava, 1997. Príroda, a.s.,
- [13] RYBNÍČEK, M., *Dendrochronologické datování dřevěných částí historických staveb, archeologických vzorků a výrobků ze dřeva - sestavení národní dubové standardní chronologie*. Brno, 2007. Disertační práce. MZLU v Brně. Vedoucí práce Doc. Dr. Ing. Petr Horáček.
- [14] SVOBODA, L. a kol. *Stavební hmoty*. 2. přeprac. vyd. Bratislava: Jaga group, 2007. 400 s. ISBN 978-80-8076-057-1
- [15] ŠLEZINGEROVÁ J., GANDELOVÁ L., *Stavba dřeva*. Brno, 2002. Učební text. MZLU v Brně
- [16] VINAR J. a kol. *Historické krovy – typologie, průzkum, opravy*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2010. 448 s. ISBN 978-80-257-3038-7
- [17] VYMAZAL, T. a kol. *Stavební látky - cvičebnice*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2009. 15 s.
- [18] DENDROCHRONOLOGIE [online]. 2005 [cit. 2011 – 01-6]. Dostupné z WWW: http://www.dendrochronologie.cz/foto_galerie.
- [19] DŘEVO [online]. 2002 [cit. 2011 – 01-6]. Dostupné z WWW: <http://drevo.celyden.cz/funkcni-vlastnosti-dreva/barva-lesk-a-textura-dreva/>.
- [20] TREE INSPECTION [online]. 2007 [cit. 2011 – 01-6]. Dostupné z WWW: <http://www.ttij.org/tree-inspection/23.html> >.
- [21] STAVEBNĚ TECHNICKÉ PRŮZKUMY DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ [online]. 2006 [cit. 2011 – 01-7]. Dostupné z WWW: <http://www.kloiber.cz/>.
- [22] REKONSTRUKCE DŘEVĚNÝCH PRVKŮ [online]. 2012 [cit. 2011 – 01-7]. Dostupné z WWW: <http://www.asb-portal.cz/>.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1-1 Uspořádání buněk dřevné hmoty v měřítku 5000:1	11
Obr. 1-2 Schématické znázornění makroskopické stavby dřeva na příčném řezu	12
Obr. 1-3 Základní řezy dřevem	13
Obr. 1-4 Rovnovážný stav vlhkosti dřeva	15
Obr. 1-5 Tvarové změny prvků	16
Obr. 1-6 Obecný tvar pracovního diagramu pro většinu pevnostních vlastností dřeva	19
Obr. 1-7 Průběh deformace ε v závislosti na čase t při zatížení nad mez úměrnosti a při odtížení.....	21
Obr. 1-8 Základní varianty trhlin	22
Obr. 1-9 Varianty zakřivení řeziva	22
Obr. 2-1 Přístroj na měření vlhkosti dřeva Hygrotest 6500 se zářezací sondou	28
Obr. 2-2 Arborsonic Decay Detector	29
Obr. 2-3 Ultrazvukový přístroj TICO	29
Obr. 2-4 Možnosti přikládání sond při měření ultrazvukem	30
Obr. 2-5 Radiogram masivního jedlového trámu v konstrukci krovu historického objektu.....	32
Obr. 2-6 Přístroj Pilodyn 6J Forest	32
Obr. 2-7 Resistograph	34
Obr. 2-8 Přístroj IML RESIF	34
Obr. 2-9 Hustotní profil (dendrogram) naznačující snížení odporu dřeva vlivem hniloby	34
Obr. 2-10 Boční pohled na přístroj pro měření mechanického odporu dřeva při zatlačování trnu	35
Obr. 2-11 Záznam průběhu síly a posunutí při průniku trnu do borovic	36
Obr. 2-12 Okružní pila s pojezdem upravená	37
Obr. 2-13 Trojúhelníkové lišty	37
Obr. 2-14 Obraz vrtaných sond získaný pomocí přístroje Videoprobe XL PRO	39
Obr. 2-15 Srovnání průběhu deseti standardních chronologií smrku ve Střední Evropě v letech 1620 – 1690	40
Obr. 2-16 Presslerův nebozez	40
Obr. 3-1 Výroba zkušebních vzorků	41
Obr. 3-2 Graf závislosti hloubky průniku hrotu a hustoty dřeva.....	43
Obr. 3-3 Graf vyjadřující hloubku průniku hrotu po délce kmene	44
Obr. 3-4 Univerzální přístroj pro měření mechanického odporu	44

Obr. 3-5 Porovnání odporu dřeva při zatlačování trnu a vytahování vrutu	45
Obr. 3-6 Porovnání odporu dřeva při zatlačování trnu a vytahování vrutu	45
Obr. 3-7 Závislost maximální síly při zatlačování trnu/ vytahování vrutu a plochy pod křivkou pracovního diagramu	46
Obr. 3-8 Poměrné zastoupení jarního a letního dřeva v řezu SM-S-1 až SM-S-21 pro hodnoty průniku hrotu odporového přístroje Pilodyn 6J Forest	47
Obr. 3-9 Poměrné zastoupení jarního a letního dřeva v řezu SM-S-1 až SM-S-21 pro hodnoty průniku trnu univerzálního přístroje do vzorku	48
Obr. 3-10 Poměrné zastoupení jarního a letního dřeva v řezu SM-S-1 až SM-S-21 pro hodnoty průniku vrutu délky 18 mm do vzorku	48
Obr. 3-11 Výsledky dendrochronologického měření vzorku SM-S-1.....	48
Obr. 3-12 Vzájemná závislost hustoty a pevnosti dřeva	50
Obr. 3-13 Graf vyjadřující konvenční mez pevnosti	51
Obr. 3-14 Porovnání hustoty zjištěné z měření odporového zarážecího přístroje a normové zkoušky pro výpočet hustoty dřeva	52
Obr. 3-15 Závislost celkové práce a hustoty stanovené dle ČSN 49 0108.....	53
Obr. 3-16 Závislost celkové práce a pevnosti dřeva stanovené dle ČSN 49 0112	53
Obr. 3-17 Závislost celkové práce a modulu pružnosti dřeva stanovené dle ČSN 49 0112.....	54
Obr. 4-1 Pohled na jižní stranu barokní rezidence v Šardicíc	55
Obr. 4-2 Sedlová střecha rezidence s náběhy	56
Obr. 4-3 Hambalkový krov s ležatou stolicí se svislými středovými sloupky	56
Obr. 4-4 Zazděná pozednice a zhlaví vazného trámu.....	57
Obr. 4-5 Hambalkový krov s ležatou stolicí se svislými středovými sloupky.....	57
Obr. 4-6 Čepování krokve do vazného trámu.....	58
Obr. 4-7 Stykování krokví ve vrcholu.....	58
Obr. 4-8 Střešní latě a šupinové skládání krytiny.....	58
Obr. 4-9 Námětky.....	59
Obr. 4-10 Středový sloupek.....	59
Obr. 4-11 Pohled na střední, mezilehlou a spodní vaznici.....	60
Obr. 4-12 Konstrukce podlahy, záklop	60
Obr. 4-13 Zatékání střešní krytinou.....	61
Obr. 4-14 Požárem poškozená část krovu.....	61
Obr. 4-15 Hambalek poškozený požerky.....	62
Obr. 4-16 Tesařík krovový a jeho výletové otvory.....	62
Obr. 4-17 Rovný plát.....	63

Obr. 4-18 <i>Ostříh a čep se špicí</i>	63
Obr. 4-19 <i>Zubový plát</i>	63

SEZNAM TABULEK

Tab. 1-1 Zastoupení jednotlivých druhů dřevin v lesních porostech ČR	13
Tab. 1-2 Rozdělení dřevin podle objemové hmotnosti v suchém stavu	14
Tab. 1-3 Hodnoty součinitele vlhkostní deformace při změně vlhkosti dřeva o 1%	16
Tab. 1-4 Průměrná trvanlivost některých druhů dřeva	18
Tab. 1-5 Trvanlivost jádrového dřeva některých dřevin při trvalém kontaktu se zemí	19
Tab. 1-6 Podmínky růstu dřevomorky domácí	23
Tab. 3-1 Odporové zarážení trnu – řez č.1	43
Tab. 3-2 Výsledky měření zatlačování trnu a vytahování vrutu pro řez č.1.	45
Tab. 3-3 Poměrné zastoupení jarního a letního dřeva pro řez č.1	46
Tab. 3-4 Vybrané diagnostické metody a zastoupení jarního a letního dřeva pro řez č.1	47
Tab. 3-5 Stanovení hustoty zkušebních vzorků dle ČSN 49 0108 pro řez č. 1.....	49
Tab. 3-6 Pevnost dřeva v tlaku napříč vlákny v řezu č.1.....	50
Tab. 3-7 Souhrn hodnot měření pro řez č. 1	53
Tab. 4-1 Průměrné vlhkosti dřeva.....	61

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Struktura a vlastnosti dřeva

A) Třídy pevnosti dřeva dle ČSN EN 338	78
B) Třídy ohrožení biologického napadení dřeva a pravděpodobnost škůdců	79

Příloha č. 2: Metodika hodnocení stavu dřeva pomocí měření mechanického odporu dřeva při zatlačování trnu

A) Odporové zarážení trnu	81
B) Zatlačování trnu a vytahování vrutu	87
C) Dendrochronologické měření	98
D) Stanovení hustoty dřeva a pevnosti dřeva v tlaku napříč vláken	112
E) Vyhodnocení výsledků měření	127

Příloha č. 3: Stavebně - technický průzkum hambalkového krovu barokní rezidence v Šardicích

A) Fotodokumentace	136
--------------------------	-----

Příloha č. 1

Tab. 1 Třídy pevnosti dřeva podle ČSN EN 338

	Topol a jehličnaté dřeviny									Listnaté dřeviny					
	C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Pevnostní vlastnosti (N.mm ⁻²)															
Ohyb	14	16	18	22	14	27	30	35	40	30	35	40	50	60	70
Tah rovnoběžně s vláknem	8	10	11	13	14	16	18	21	24	18	21	24	30	36	42
Tah kolmo na vlákna	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9
Tlak rovnoběžně s vláknem	16,0	17,0	18,0	20,0	21,0	22,0	23,0	25,0	26,0	23,0	25,0	26,0	29,0	32,0	34,0
Tlak kolmo na vlákna	4,3	4,6	4,8	5,1	5,3	5,6	5,7	6,0	6,3	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Smyk	1,7	1,8	2,0	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
Tuhostní vlastnosti (kN.mm ⁻²)															
Průměrný modul pružnosti rovnoběžně s vláknem	7	8	9	10	11	12	12	13	14	10	10	11	14	17	20
Průměrný modul pružnosti kolmo na vlákna	0,23	0,27	0,3	0,33	0,37	0,4	0,4	0,43	0,47	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
Průměrný modul pružnosti ve smyku	0,44	0,50	0,56	0,63	0,69	0,75	0,75	0,81	0,88	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25

Tab. 2 Třídy ohrožení biologického napadení dřeva a pravděpodobnost výskytu škůdců

Třída ohrožení dřeva	Uložení dřeva	Vlhkost dřeva	Výskyt biotických škůdců ve třídách ohrožení				
			dřevokazné houby		houby a plísně zabarvující dřevo	dřevokazný hmyz	
			hnědá a bílá hniloba	měkká hniloba		brouci	termity
1	Pod střechou, zcela chráněno proti povětrnosti, nevystaveno působení vlhkosti, bez styku se zemí	≤ 20%	-	-	-	U	L
2	Pod střechou, ale vysoká vlhkost okolního prostředí může vést k občasnému, ale ne trvalému zvýšení vlhkosti	příležitostně > 20%	U	-	U	U	L
3	Nezakryto, ale bez styku se zemí. Je buď nepřetržitě vystaveno působení povětrnosti nebo je před ní chráněno, ale je vystaveno opakovaně zvýšené vlhkosti	často > 20%	U	-	U	U	L
4	Ve styku se zemí nebo sladkou vodou a vystaveno působení vlhkosti	trvale > 20%	U	U	U	U	L
5	Trvale vystaveno působení mořské vody	trvale > 20%	U	U	U	U	L

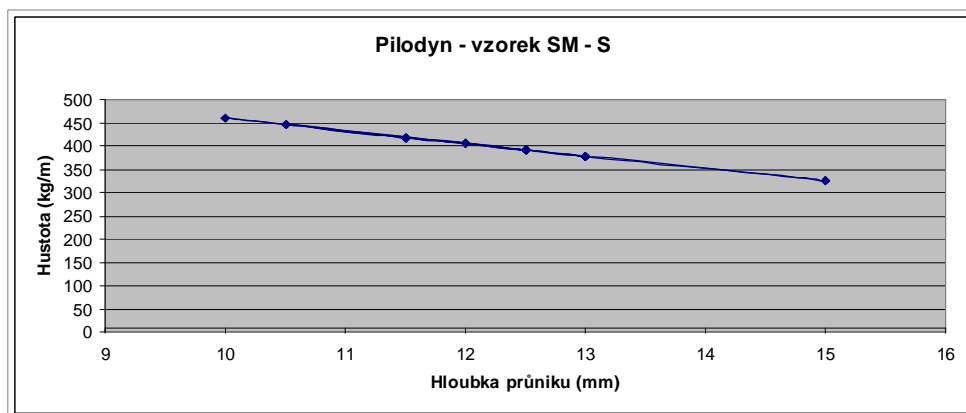
U – univerzální výskyt, L – lokální výskyt (např. jen v jižní Evropě)

Příloha č. 2

A) Odporové zarážení trnu

Tab. 1 *Odporové zarážení trnu*

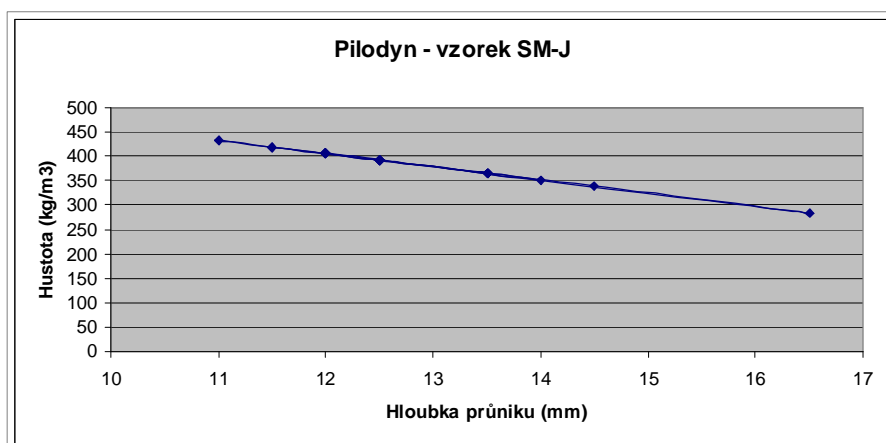
Zkušební vzorky		Pilodyn - zarážení trnu	
Označení vzorku	Celková délka úseku	Hloubka zarážení trnu	Hustota ρ_{12}
	mm	mm	kg/m ³
SM-S-1	154	10,5	445
SM-S-2	128	11,5	418
SM-S-3	127	11,5	418
SM-S-4	177	11,5	418
SM-S-5	172	10,5	445
SM-S-6	167	12,5	392
SM-S-7	155	11,5	418
SM-S-8	136	11,5	418
SM-S-9	124	11,5	418
SM-S-10	163	12,5	392
SM-S-11	163	10	459
SM-S-12	168	12	405
SM-S-13	133	12,5	392
SM-S-14	136	13	378
SM-S-15	138	13	378
SM-S-16	109	12,5	392
SM-S-17	108	15	324
SM-S-18	107	13	378
SM-S-19	83	13	378
SM-S-20	67	12	405
SM-S-21	71	11,5	418



Obr. 1 *Závislost hloubky průniku hrotu a hustoty dřeva pro řez SM-S-1 až SM-S-21*

Tab. 2 Odporové zarážení trnu

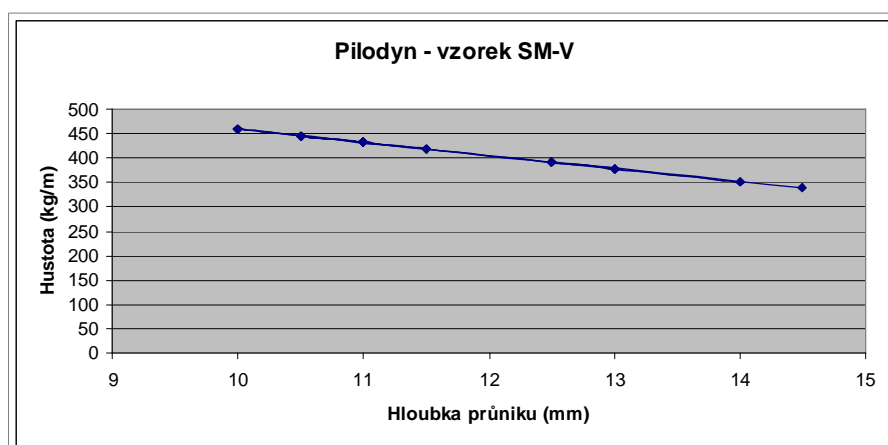
Zkušební vzorky		Pilodyn - zarážení trnu	
Označení vzorku	Celková délka úseku	Hloubka zaražení trnu	Hustota ρ_{12}
	mm	mm	kg/m ³
SM-J-1	193	11,5	418
SM-J-2	159	12,5	392
SM-J-3	152	11	432
SM-J-4	151	11,5	418
SM-J-5	143	12	405
SM-J-6	143	12	405
SM-J-7	145	12	405
SM-J-8	148	13,5	365
SM-J-9	160	13,5	365
SM-J-10	128	12	405
SM-J-11	113	12,5	392
SM-J-12	112	12,5	392
SM-J-13	124	13,5	365
SM-J-14	118	13,5	365
SM-J-15	109	13,5	365
SM-J-16	124	14	351
SM-J-17	104	12,5	392
SM-J-18	104	12,5	392
SM-J-19	68	16,5	284
SM-J-20	75	14,5	338
SM-J-21	88	13,5	365



Obr. 2 Závislost hloubky průniku hrotu a hustoty dřeva pro řez SM-J-1 až SM-J-21

Tab.3 Odporové zarážení trnu

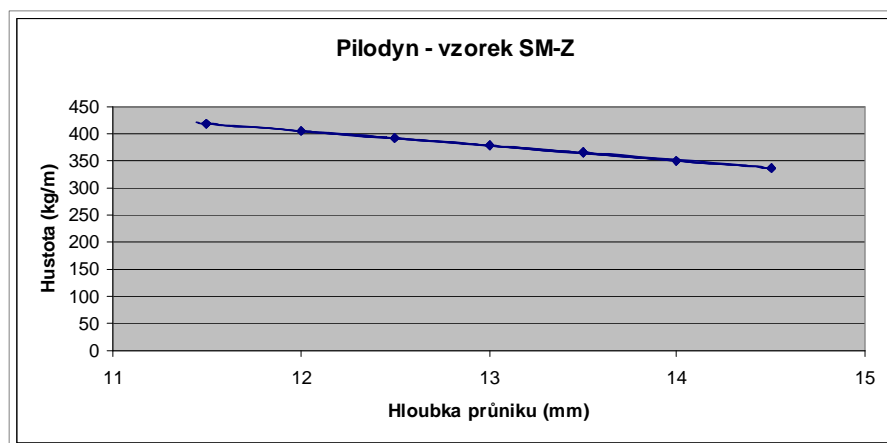
Zkušební vzorky		Pilodyn - zarážení trnu	
Označení vzorku	Celková délka úseku	Hloubka zaražení trnu	Hustota ρ_{12}
	mm	mm	kg/m ³
SM-V-1	197	10	459
SM-V-2	177	10,5	445
SM-V-3	163	11	432
SM-V-4	149	11	432
SM-V-5	140	10,5	445
SM-V-6	136	11	432
SM-V-7	157	11	432
SM-V-8	153	10,5	445
SM-V-9	155	11,5	418
SM-V-10	129	11	432
SM-V-11	126	11,5	418
SM-V-12	116	14	351
SM-V-13	132	12,5	392
SM-V-14	122	10	459
SM-V-15	118	13	378
SM-V-16	115	13	378
SM-V-17	112	13	378
SM-V-18	101	12,5	392
SM-V-19	112	12,5	392
SM-V-20	114	12,5	392
SM-V-21	118	14,5	338

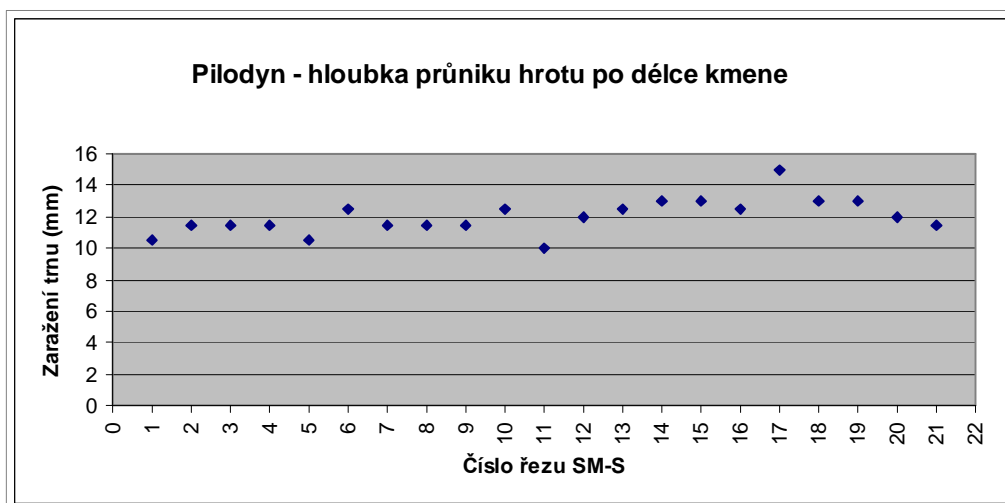


Obr. 3 Závislost hloubky průniku hrotu a hustoty dřeva pro řez SM-V-1 až SM-V-21

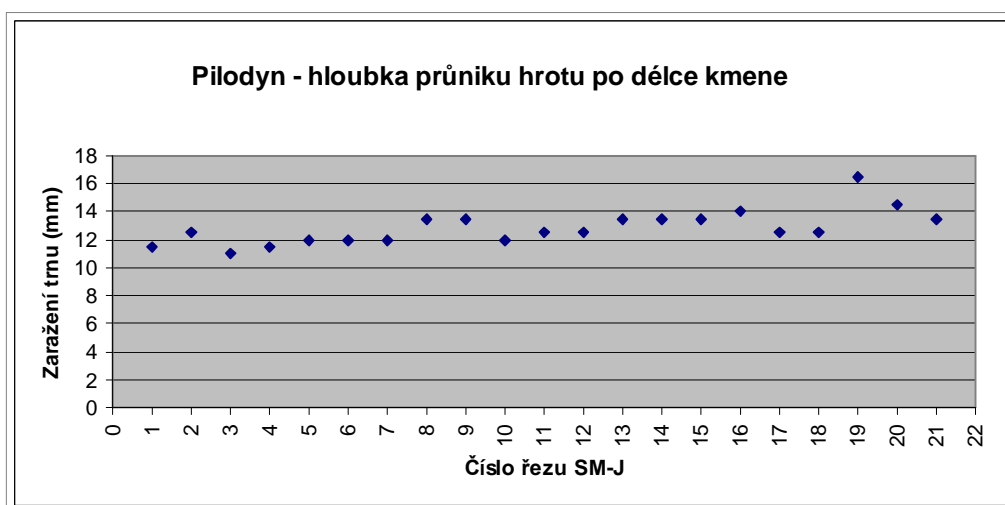
Tab. 4 *Odporové zarážení trnu*

Zkušební vzorky		Pilodyn - zarážení trnu	
Označení vzorku	Celková délka úseku	Hloubka zaražení trnu	Hustota ρ_{12}
	mm	mm	kg/m ³
SM-Z-1	146	12,5	392
SM-Z-2	148	11,5	418
SM-Z-3	149	13,5	365
SM-Z-4	188	13,5	365
SM-Z-5	177	13,5	365
SM-Z-6	177	14	351
SM-Z-7	165	12	405
SM-Z-8	142	13	378
SM-Z-9	140	12,5	392
SM-Z-10	141	14,5	338
SM-Z-11	129	13,5	365
SM-Z-12	132	14	351
SM-Z-13	123	14	351
SM-Z-14	123	13	378
SM-Z-15	122	14,5	338
SM-Z-16	106	12,5	392
SM-Z-17	91	12	405
SM-Z-18	100	12,5	392
SM-Z-19	82	11,5	418
SM-Z-20	68	14,5	338
SM-Z-21	68	11,5	418

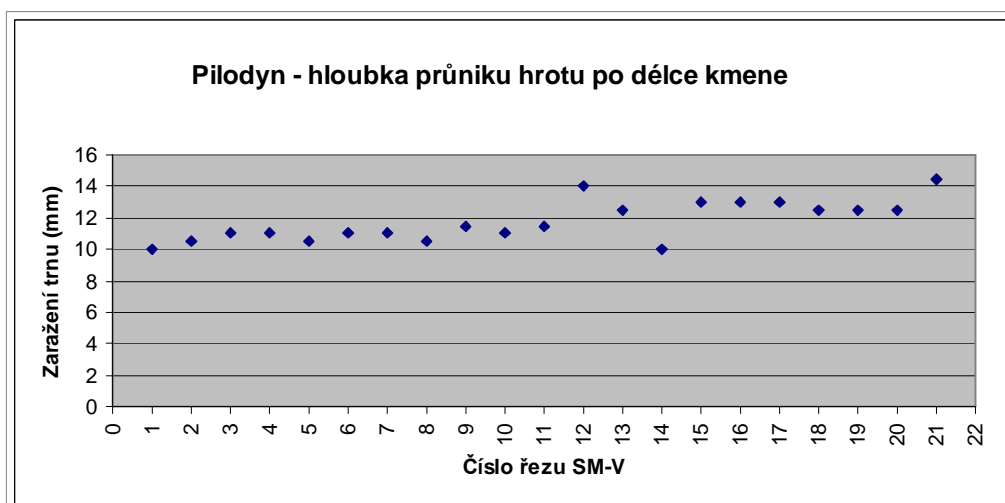
Obr. 4 *Závislost hloubky průniku hrotu a hustoty dřeva pro řez SM-Z-1 až SM-Z-21*



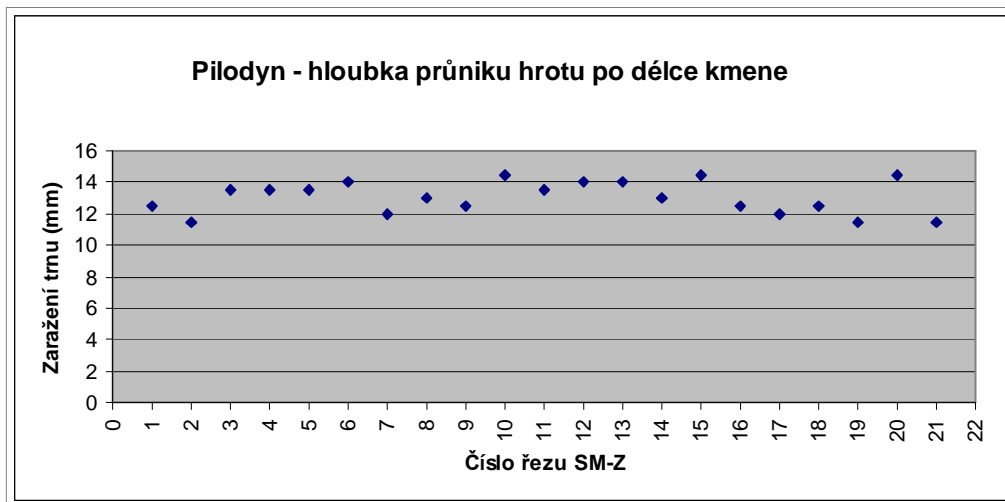
Obr. 5 Hloubka průniku hrotu odporového zarážecího přístroje v řezu SM-S-1 až SM-S-21



Obr. 6 Hloubka průniku hrotu odporového zarážecího přístroje v řezu SM-J-1 až SM-J-21



Obr. 7 Hloubka průniku hrotu odporového zarážecího přístroje v řezu SM-V-1 až SM-V-21



Obr. 8 Hloubka průniku hrotu odporového zarážecího přístroje v řezu SM-Z-1 až SM-Z-21

B) Zatlačování trnu a vytahování vrutu

Tab. 5 Zatlačování trnu pro řez SM-S-1 až SM-S-21

Zkušební vzorky		Zatlačování trnu							
Označení vzorku	Celková délka	Hloubka vniku	Čas	Plocha pod křivkou	Max síla při zatlačování	Průměrná síla při zatlačování	Max síla při vytahování	Odpor dřeva proti zatlačování	Odpor dřeva proti vytahování
	mm	mm	s	N*mm	N	N	N	N/mm	N/mm
SM-S-1	154	104,45	9,93	84793,47	1217,78	811,81	902,22	11,66	8,64
SM-S-2	128	108,05	9,61	73964,11	1064,44	684,54	861,11	9,85	7,97
SM-S-3	127	111,65	8,14	90720,64	1222,22	812,54	1576,67	10,95	14,12
SM-S-4	177	111,15	11,66	100031,44	1403,33	899,97	1531,11	12,63	13,78
SM-S-5	172	112,45	17,27	96907,67	1360,00	861,78	1523,33	12,09	13,55
SM-S-6	167	111,60	9,01	96542,72	1396,67	865,08	1308,89	12,51	11,73
SM-S-7	155	112,35	9,16	92791,19	1256,67	825,91	1292,22	11,19	11,50
SM-S-8	136	111,85	9,51	84655,58	1063,33	756,87	1128,89	9,51	10,09
SM-S-9	124	112,35	9,72	94374,83	1256,67	840,01	1224,44	11,19	10,90
SM-S-10	163	109,60	13,00	85028,69	1110,00	775,81	1270,00	10,13	11,59
SM-S-11	163	111,15	7,95	74893,28	1011,11	673,80	1111,11	9,10	10,00
SM-S-12	168	111,10	9,45	78660,42	1155,56	708,01	1003,33	10,40	9,03
SM-S-13	133	110,40	8,74	73801,86	972,22	668,50	880,00	8,81	7,97
SM-S-14	136	110,60	7,32	81476,33	1150,00	736,68	1064,44	10,40	9,62
SM-S-15	138	112,30	7,83	79765,86	1050,00	710,29	1007,78	9,35	8,97
SM-S-16	109	110,95	7,32	66613,14	945,56	600,39	783,33	8,52	7,06
SM-S-17	108	112,10	7,79	78627,17	1065,56	701,40	911,11	9,51	8,13
SM-S-18	107	111,00	6,84	74771,17	1137,78	673,61	931,11	10,25	8,39
SM-S-19	83	82,80	9,88	46339,19	791,11	559,65	518,89	9,55	6,27
SM-S-20	67	76,75	6,05	38451,11	731,11	500,99	462,22	9,53	6,02
SM-S-21	71	77,05	5,70	38994,56	927,78	506,09	484,44	12,04	6,29

Tab. 6 Zatlačování trnu pro řez SM-J-1 až SM-J-21

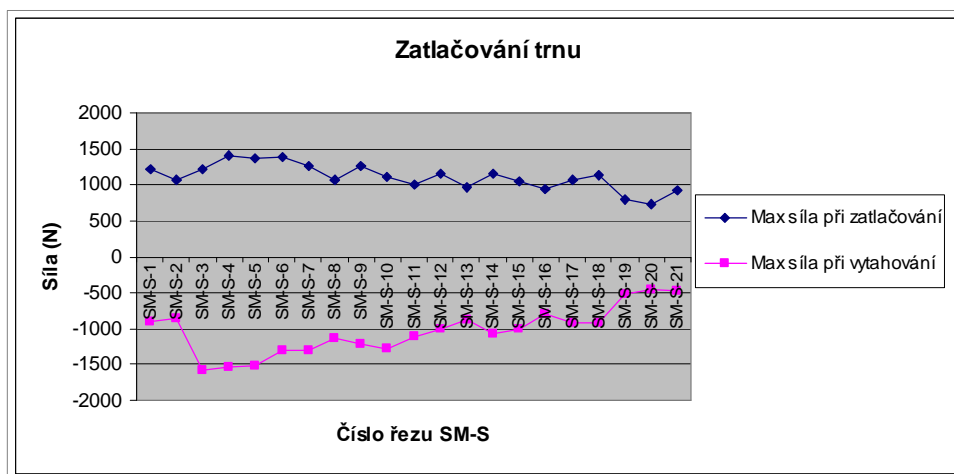
Zkušební vzorky		Zatlačování trnu							
Označení vzorku	Celková délka	Hloubka vniku	Čas	Plocha pod křivkou	Max síla při zatlačování	Průměrná síla při zatlačování	Max síla při vytahování	Odpor dřeva proti zatlačování	Odpor dřeva proti vytahování
	mm	mm	s	N*mm	N	N	N	N/mm	N/mm
SM-J-1	193	112,35	9,42	85444,50	1141,11	760,52	1474,44	10,16	13,12
SM-J-2	159	111,65	9,65	86017,86	1181,11	770,42	1513,33	10,58	13,55
SM-J-3	152	112,35	11,16	94324,67	1313,33	839,56	1516,67	11,69	13,50
SM-J-4	151	110,15	10,09	92355,72	1283,33	838,45	1557,78	11,65	14,14
SM-J-5	143	111,55	14,59	91129,53	1305,56	816,94	1465,56	11,70	13,14
SM-J-6	143	109,30	9,77	90087,61	1282,22	824,22	1540,00	11,73	14,09
SM-J-7	145	110,75	10,84	82574,89	1116,67	745,60	1336,67	10,08	12,07
SM-J-8	148	112,15	14,23	76676,58	1070,00	683,70	1278,89	9,54	11,40
SM-J-9	160	109,10	7,61	75051,06	1045,56	687,91	1052,22	9,58	9,64
SM-J-10	128	110,65	12,05	98572,50	1132,22	890,85	997,78	10,23	9,02
SM-J-11	113	112,35	9,88	83744,28	1154,44	745,39	1130,00	10,28	10,06
SM-J-12	112	112,00	9,66	83300,19	1148,89	743,75	1058,89	10,26	9,45
SM-J-13	124	111,35	7,48	86486,28	1076,67	776,71	1353,33	9,67	12,15
SM-J-14	118	109,80	6,83	76346,14	1131,11	695,32	894,44	10,30	8,15
SM-J-15	109	110,80	6,53	79234,56	1064,44	715,11	924,44	9,61	8,34
SM-J-16	124	107,30	7,27	76288,19	1031,11	710,98	840,00	9,61	7,83
SM-J-17	104	108,65	8,52	61841,39	914,44	569,18	675,56	8,42	6,22
SM-J-18	104	108,75	8,66	68140,25	1126,67	626,58	746,67	10,36	6,87
SM-J-19	68	73,25	8,39	33466,89	642,22	456,89	414,44	8,77	5,66
SM-J-20	75	84,10	10,58	36012,44	600,00	428,21	436,67	7,13	5,19
SM-J-21	88	94,25	9,55	46999,67	776,67	498,67	461,11	8,24	4,89

Tab. 7 Zatlačování trnu pro řez SM-V-1 až SM-V-21

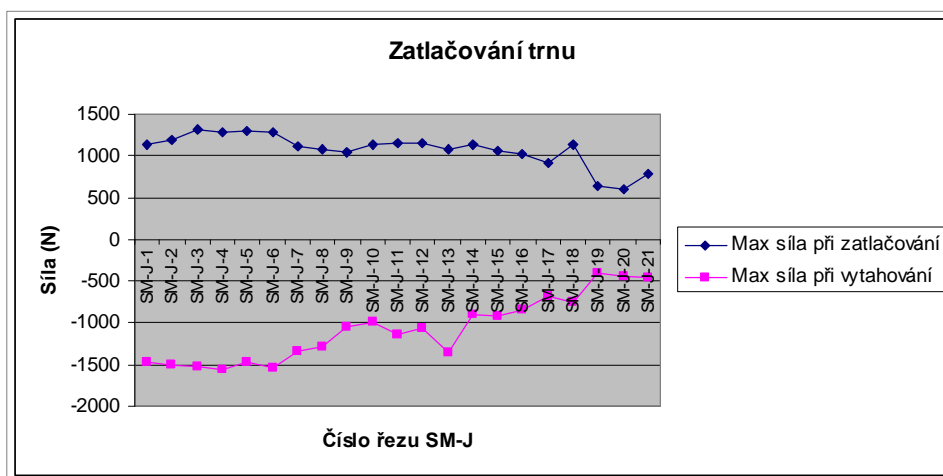
Zkušební vzorky		Zatlačování trnu							
Označení vzorku	Celková délka	Hloubka vniku	Čas	Plocha pod křivkou	Max síla při zatlačování	Průměrná síla při zatlačování	Max síla při vytahování	Odpor dřeva proti zatlačování	Odpor dřeva proti vytahování
	mm	mm	s	N*mm	N	N	N	N/mm	N/mm
SM-V-1	197	112,00	9,51	82448,11	960,00	736,14	800,00	8,57	7,14
SM-V-2	177	111,05	10,28	91508,86	1116,67	824,03	1052,22	10,06	9,48
SM-V-3	163	110,40	18,98	90257,97	1174,44	817,55	1214,44	10,64	11,00
SM-V-4	149	110,55	10,22	123395,58	1500,00	1116,20	1575,56	13,57	14,25
SM-V-5	140	110,25	9,71	102921,14	1364,44	933,53	1471,11	12,38	13,34
SM-V-6	136	111,75	9,45	95645,00	1276,67	855,88	995,56	11,42	8,91
SM-V-7	157	112,30	11,86	99305,44	1216,67	884,29	1274,44	10,83	11,35
SM-V-8	153	104,50	10,03	107238,44	1792,22	1026,21	1738,89	17,15	16,64
SM-V-9	155	111,30	10,48	84548,11	1093,33	759,64	997,78	9,82	8,96
SM-V-10	129	108,55	9,53	85899,72	1085,56	791,34	986,67	10,00	9,09
SM-V-11	126	111,25	9,64	77694,61	1050,00	698,38	827,78	9,44	7,44
SM-V-12	116	110,80	8,37	82737,64	1057,78	746,73	1016,67	9,55	9,18
SM-V-13	132	108,20	10,12	85210,97	1136,67	787,53	875,56	10,51	8,09
SM-V-14	122	110,15	9,38	78820,64	1087,78	715,58	897,78	9,88	8,15
SM-V-15	118	108,50	8,54	92319,44	1335,56	850,87	1157,78	12,31	10,67
SM-V-16	115	111,00	8,55	76962,86	1135,56	693,36	906,67	10,23	8,17
SM-V-17	112	111,80	9,52	93204,39	1518,89	833,67	722,22	13,59	6,46
SM-V-18	101	109,65	8,62	58380,78	841,11	532,43	613,33	7,67	5,59
SM-V-19	112	112,20	8,06	76009,58	1043,33	677,45	702,22	9,30	6,26
SM-V-20	114	106,00	6,39	73288,22	973,33	691,40	785,56	9,18	7,41
SM-V-21	118	112,30	7,69	68901,97	994,44	613,55	665,56	8,86	5,93

Tab. 8 Zatlačování trnu pro řez SM-Z-1 až SM-Z-21

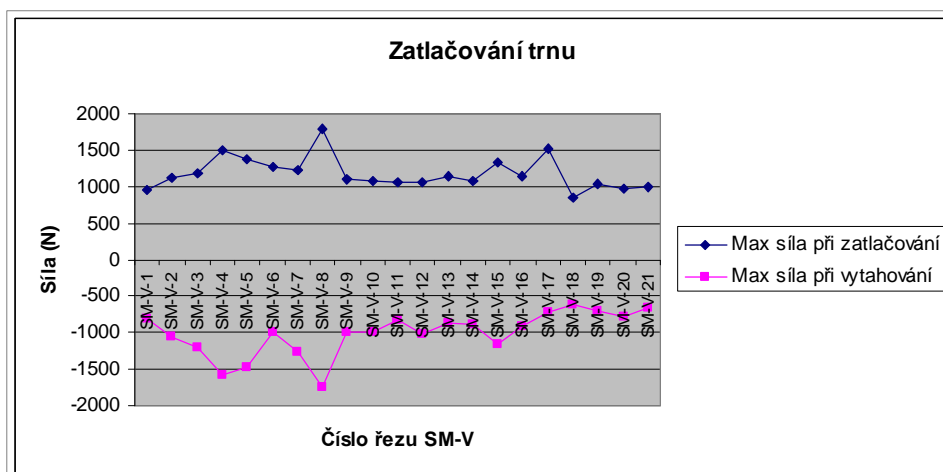
Zkušební vzorky		Zatlačování trnu							
Označení vzorku	Celková délka	Hloubka vniku	Čas	Plocha pod křivkou	Max síla při zatlačování	Průměrná síla při zatlačování	Max síla při vytahování	Odpor dřeva proti zatlačování	Odpor dřeva proti vytahování
	mm	mm	s	N*mm	N	N	N	N/mm	N/mm
SM-Z-1	146	107,80	8,55	95616,19	1356,67	886,98	1205,56	12,59	11,18
SM-Z-2	148	111,25	10,78	83126,61	1222,22	747,21	1575,56	10,99	14,16
SM-Z-3	149	111,15	10,07	83030,92	1272,22	747,02	1496,67	11,45	13,47
SM-Z-4	188	110,90	9,98	68119,69	833,33	614,24	698,89	7,51	6,30
SM-Z-5	177	111,10	8,52	70309,03	935,56	632,84	851,11	8,42	7,66
SM-Z-6	177	110,90	8,68	72888,39	937,78	657,24	940,00	8,46	8,48
SM-Z-7	165	112,20	9,33	86207,47	1177,78	768,34	1566,67	10,50	13,96
SM-Z-8	142	112,40	12,11	81980,75	1118,89	729,37	1308,89	9,95	11,64
SM-Z-9	140	111,05	8,61	84424,06	1091,11	760,23	1621,11	9,83	14,60
SM-Z-10	141	112,20	9,55	67322,92	930,00	600,03	972,22	8,29	8,67
SM-Z-11	129	111,25	8,13	70990,06	1027,78	638,11	907,78	9,24	8,16
SM-Z-12	132	112,15	15,69	83647,08	1056,67	745,85	1075,56	9,42	9,59
SM-Z-13	123	108,55	7,23	74814,47	1060,00	689,22	1167,78	9,77	10,76
SM-Z-14	123	110,90	10,89	118416,22	1683,33	1067,77	1215,56	15,18	10,96
SM-Z-15	122	107,00	5,49	63954,00	933,33	597,70	733,33	8,72	6,85
SM-Z-16	106	111,90	11,48	55073,53	777,78	492,17	592,22	6,95	5,29
SM-Z-17	91	100,00	11,93	51433,11	815,56	514,33	762,22	8,16	7,62
SM-Z-18	100	104,05	9,89	51330,03	753,33	493,32	537,78	7,24	5,17
SM-Z-19	82	91,30	7,53	46030,31	673,33	504,17	508,89	7,37	5,57
SM-Z-20	68	75,45	6,25	34898,86	667,78	462,54	481,11	8,85	6,38
SM-Z-21	68	70,65	5,52	30553,78	622,22	432,47	422,22	8,81	5,98



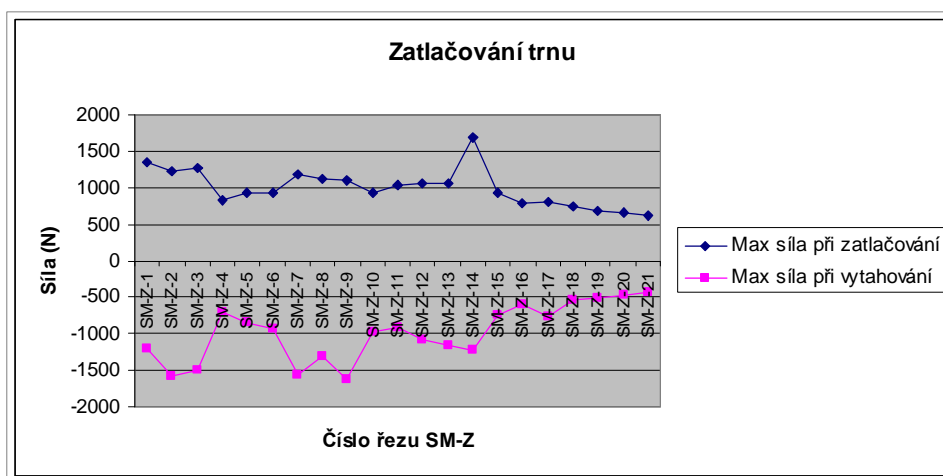
Obr. 9 Maximální síla při zatlačování a vytahování trnu pro řez SM-S-1 až SM-S-21



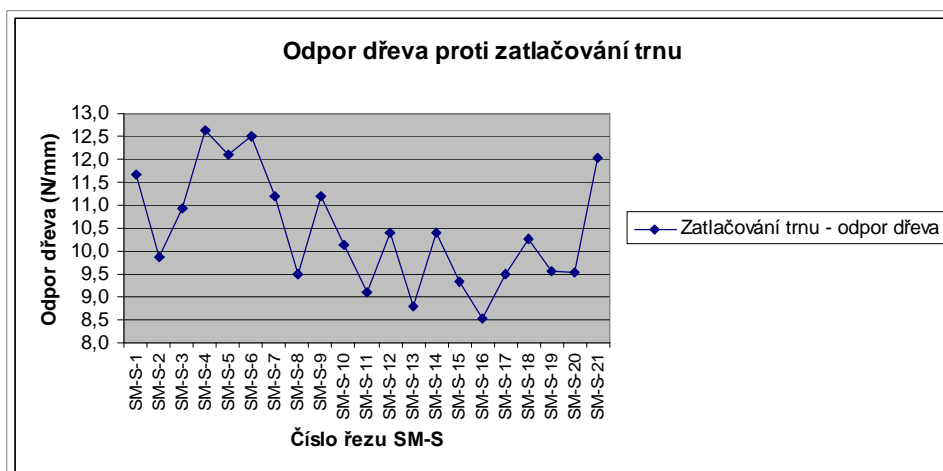
Obr. 10 Maximální síla při zatlačování a vytahování trnu pro řez SM-J-1 až SM-J-21



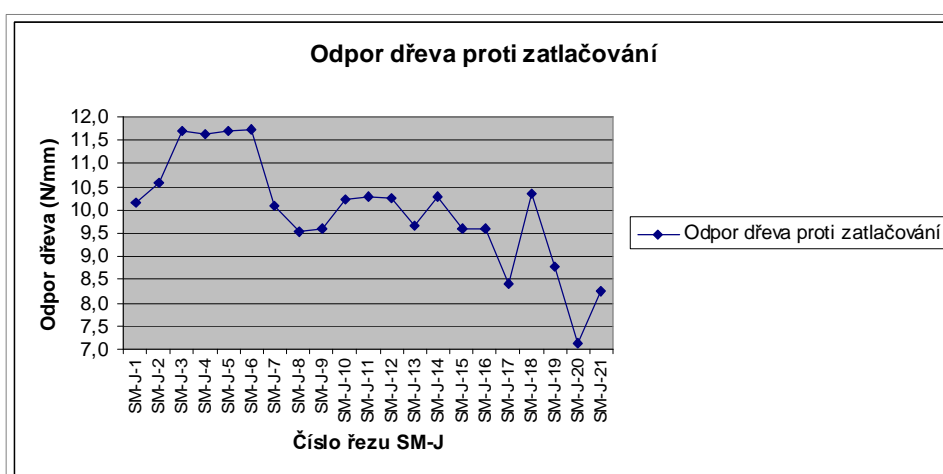
Obr. 11 Maximální síla při zatlačování a vytahování trnu pro řez SM-V-1 až SM-V-21



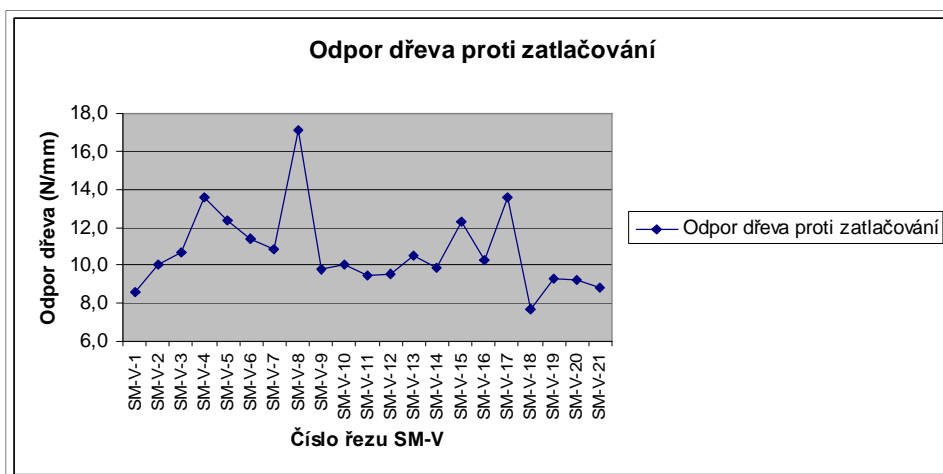
Obr. 12 Maximální síla při zatlačování a vytahování trnu pro řez SM-Z-1 až SM-Z-21



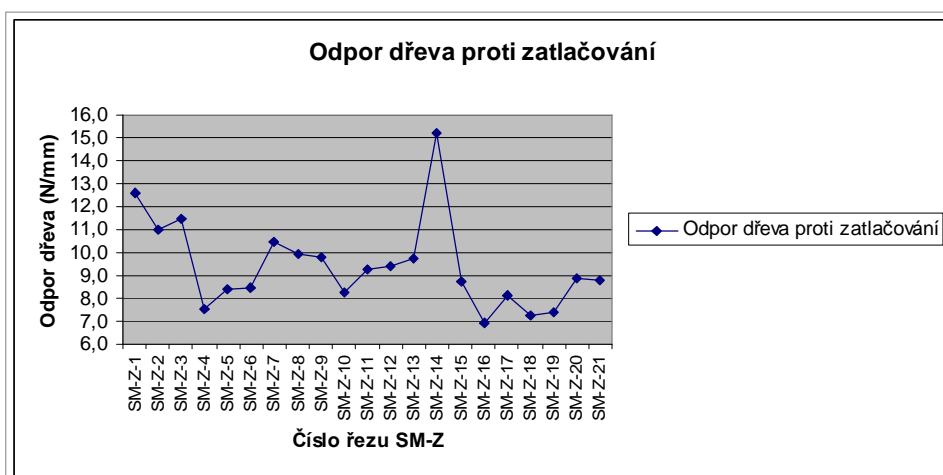
Obr. 13 Odpor dřeva při zkoušce zatlačování trnu v řezu SM-S-1 až SM-S-21



Obr. 14 Odpor dřeva při zkoušce zatlačování trnu v řezu SM-J-1 až SM-J-21



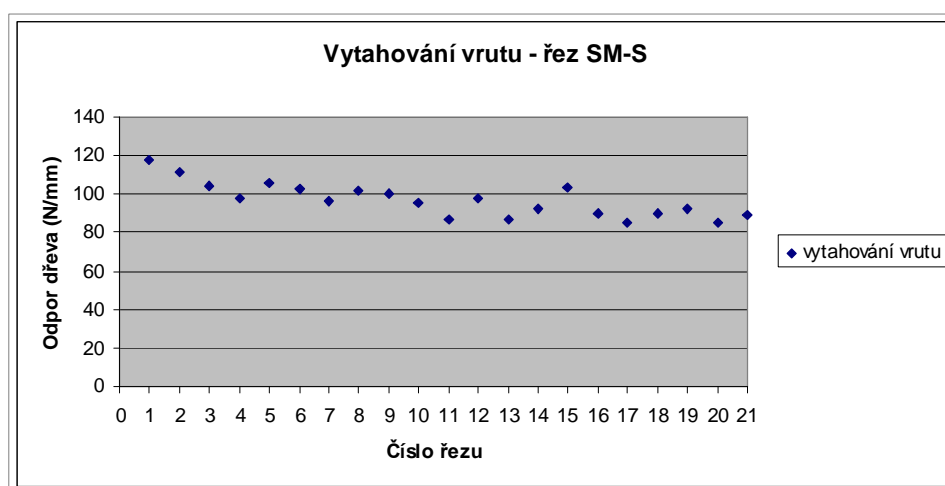
Obr. 15 Odpor dřeva při zkoušce zatlačování trnu v řezu SM-V-1 až SM-V-21



Obr. 16 Odpor dřeva při zkoušce zatlačování trnu v řezu SM-Z-1 až SM-Z-21

Tab. 9 Vytahování vrutu pro řez SM-S-1 až SM-S-21

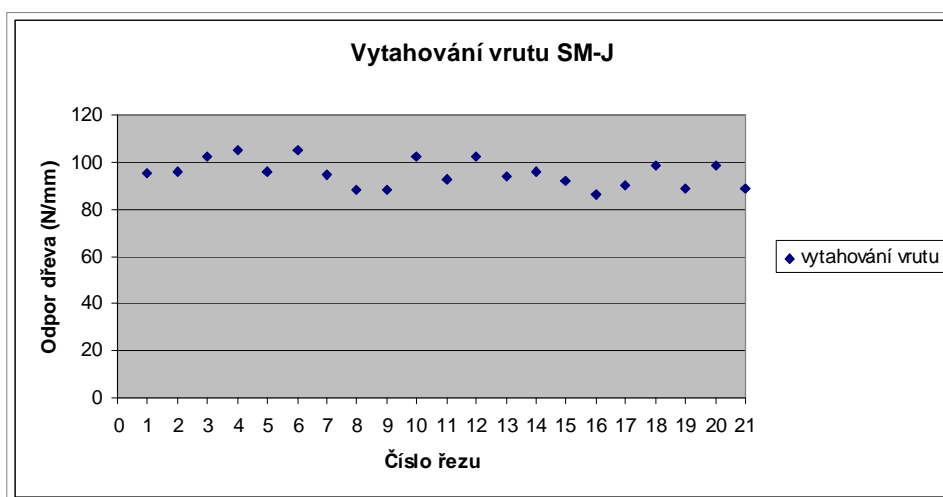
Označení vzorku	Vytahování vrutu		
	Délka vrutu	Max síla při vytahování	Odpor dřeva proti vytahování
	mm	N	N/mm
SM-S-1	18	2115,56	117,53
SM-S-2	18	1998,89	111,05
SM-S-3	18	1872,22	104,01
SM-S-4	18	1756,67	97,59
SM-S-5	18	1903,33	105,74
SM-S-6	18	1850,00	102,78
SM-S-7	18	1738,89	96,60
SM-S-8	18	1828,89	101,60
SM-S-9	18	1807,78	100,43
SM-S-10	18	1721,11	95,62
SM-S-11	18	1565,56	86,98
SM-S-12	18	1756,67	97,59
SM-S-13	18	1554,44	86,36
SM-S-14	18	1667,78	92,65
SM-S-15	18	1856,67	103,15
SM-S-16	18	1616,67	89,81
SM-S-17	18	1525,56	84,75
SM-S-18	18	1623,33	90,19
SM-S-19	18	1658,89	92,16
SM-S-20	18	1538,89	85,49
SM-S-21	18	1606,67	89,26



Obr. 17 Odpor dřeva proti vytahování vrutu v řezu SM-S-1 až SM-S-21

Tab. 10 Vytahování vrutu pro řez SM-J-1 až SM-J-21

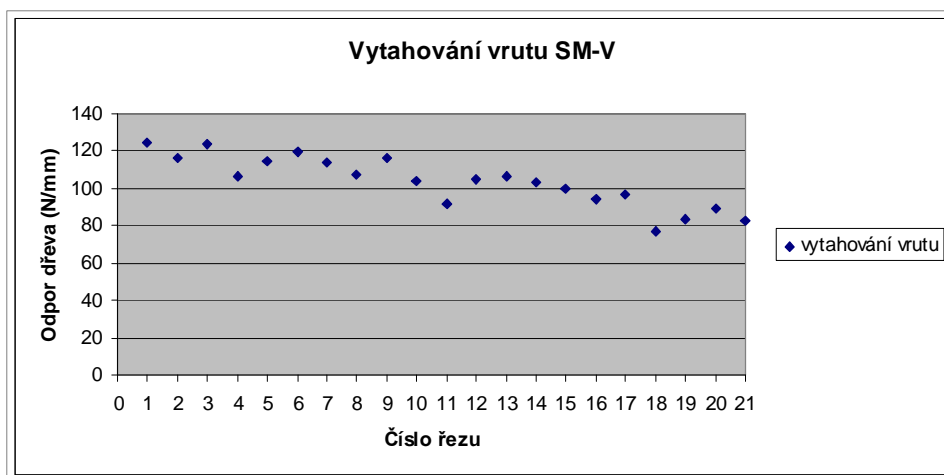
Označení vzorku	Vytahování vrutu		
	Délka vrutu	Max síla při vytahování	Odpor dřeva proti vytahování
	mm	N	N/mm
SM-J-1	18	1713,33	95,19
SM-J-2	18	1725,56	95,86
SM-J-3	18	1840,00	102,22
SM-J-4	18	1894,44	105,25
SM-J-5	18	1722,22	95,68
SM-J-6	18	1890,00	105,00
SM-J-7	18	1703,33	94,63
SM-J-8	18	1593,33	88,52
SM-J-9	18	1586,67	88,15
SM-J-10	18	1843,33	102,41
SM-J-11	18	1668,89	92,72
SM-J-12	18	1842,22	102,35
SM-J-13	18	1693,33	94,07
SM-J-14	18	1723,33	95,74
SM-J-15	18	1654,44	91,91
SM-J-16	18	1551,11	86,17
SM-J-17	18	1617,78	89,88
SM-J-18	18	1772,22	98,46
SM-J-19	18	1603,33	89,07
SM-J-20	18	1768,89	98,27
SM-J-21	18	1596,67	88,70



Obr. 18 Odpor dřeva proti vytahování vrutu v řezu SM-J-1 až SM-J-21

Tab. 11 Vytahování vrutu pro řez SM-V-1 až SM-V-21

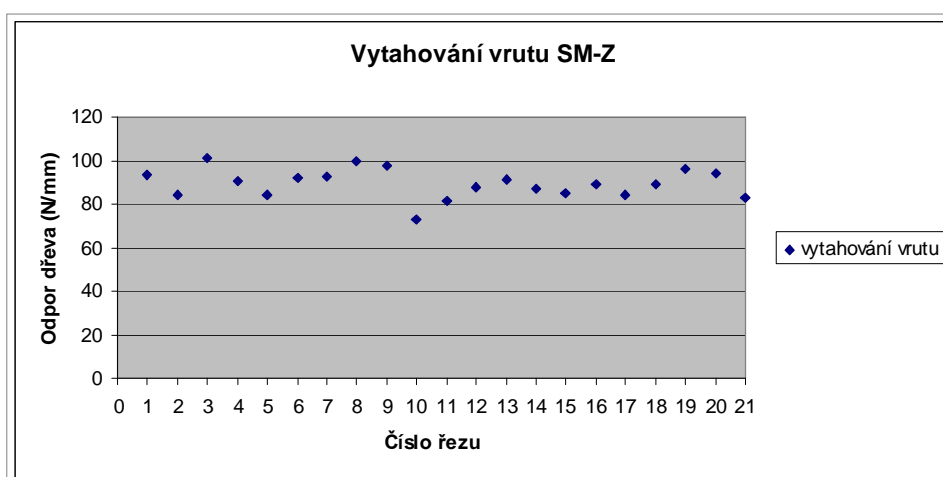
Označení vzorku	Vytahování vrutu		
	Délka vrutu	Max síla při vytahování	Odpor dřeva proti vytahování
	mm	N	N/mm
SM-V-1	18	2235,56	124,20
SM-V-2	18	2087,78	115,99
SM-V-3	18	2220,00	123,33
SM-V-4	18	1921,11	106,73
SM-V-5	18	2067,78	114,88
SM-V-6	18	2146,67	119,26
SM-V-7	18	2044,44	113,58
SM-V-8	18	1924,44	106,91
SM-V-9	18	2093,33	116,30
SM-V-10	18	1870,00	103,89
SM-V-11	18	1652,22	91,79
SM-V-12	18	1890,00	105,00
SM-V-13	18	1913,33	106,30
SM-V-14	18	1855,56	103,09
SM-V-15	18	1797,78	99,88
SM-V-16	18	1693,33	94,07
SM-V-17	18	1737,78	96,54
SM-V-18	18	1390,00	77,22
SM-V-19	18	1505,56	83,64
SM-V-20	18	1606,67	89,26
SM-V-21	18	1490,00	82,78



Obr. 19 Odpor dřeva proti vytahování vrutu v řezu SM-V-1 až SM-V-21

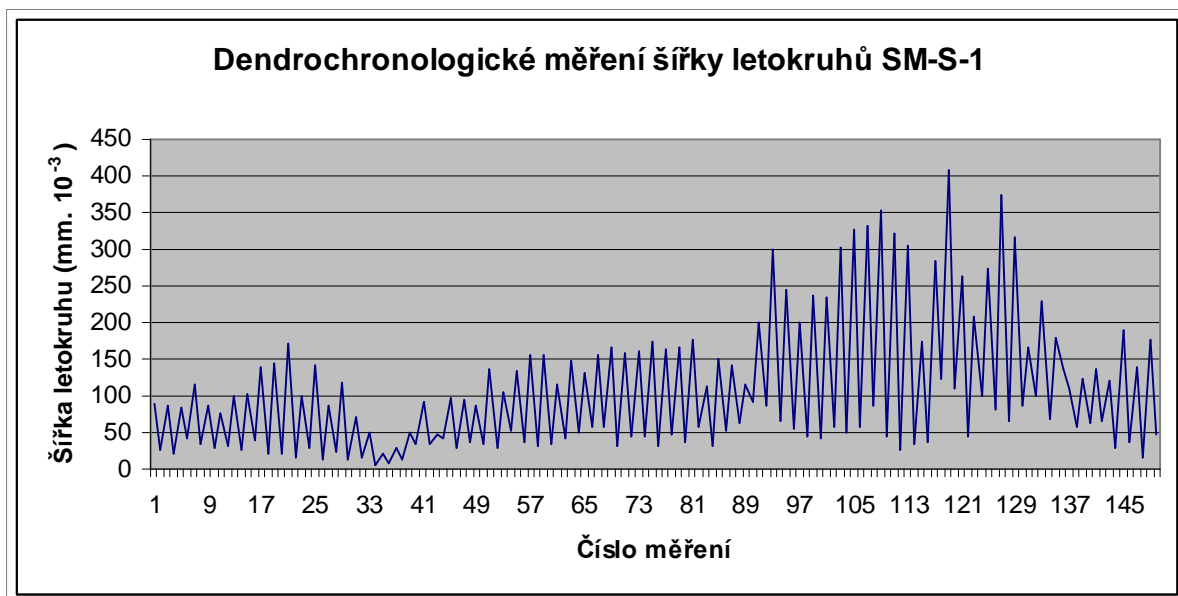
Tab. 12 Vytahování vrutu pro řez SM-Z-1 až SM-Z-21

Označení vzorku	Vytahování vrutu		
	Délka vrutu	Max síla při vytahování	Odpor dřeva proti vytahování
	mm	N	N/mm
SM-Z-1	18	1681,11	93,40
SM-Z-2	18	1512,22	84,01
SM-Z-3	18	1824,44	101,36
SM-Z-4	18	1623,33	90,19
SM-Z-5	18	1517,78	84,32
SM-Z-6	18	1660,00	92,22
SM-Z-7	18	1673,33	92,96
SM-Z-8	18	1796,67	99,81
SM-Z-9	18	1758,89	97,72
SM-Z-10	18	1311,11	72,84
SM-Z-11	18	1470,00	81,67
SM-Z-12	18	1583,33	87,96
SM-Z-13	18	1641,11	91,17
SM-Z-14	18	1572,22	87,35
SM-Z-15	18	1523,33	84,63
SM-Z-16	18	1600,00	88,89
SM-Z-17	18	1513,33	84,07
SM-Z-18	18	1598,89	88,83
SM-Z-19	18	1728,89	96,05
SM-Z-20	18	1698,89	94,38
SM-Z-21	18	1495,56	83,09

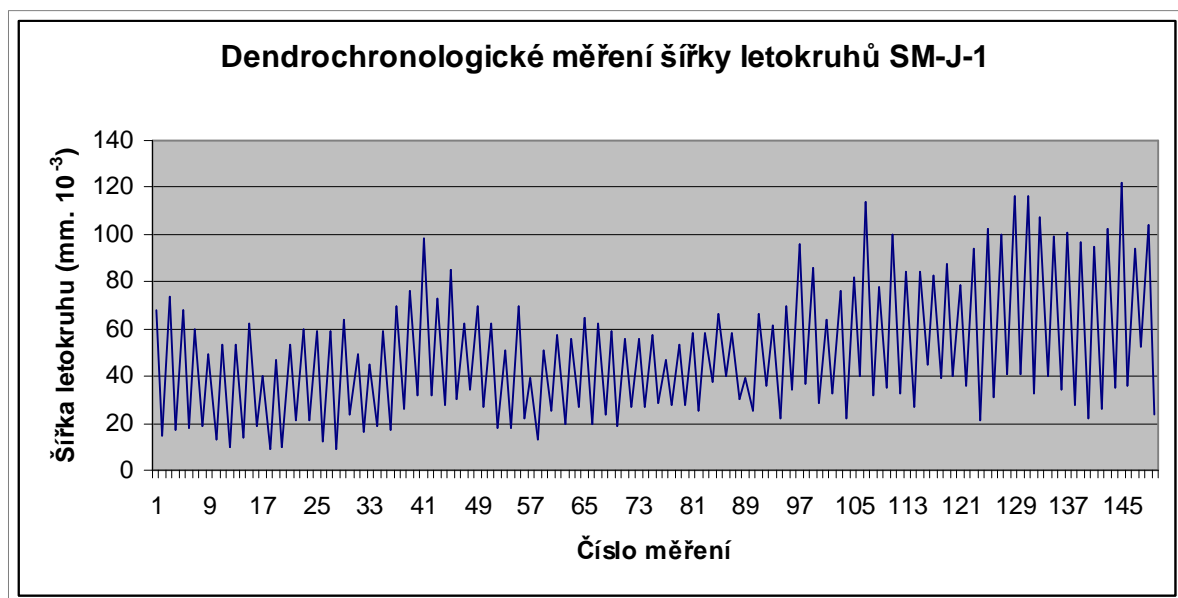


Obr. 20 Odpor dřeva proti vytahování vrutu v řezu SM-Z-1 až SM-Z-21

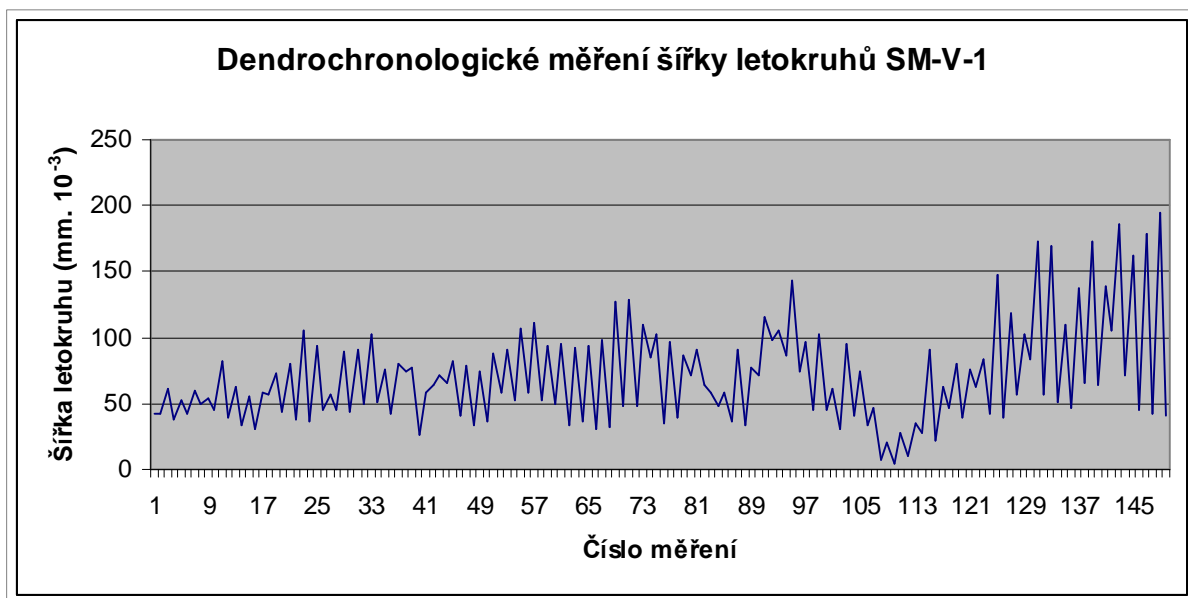
C) Dendrochronologické měření



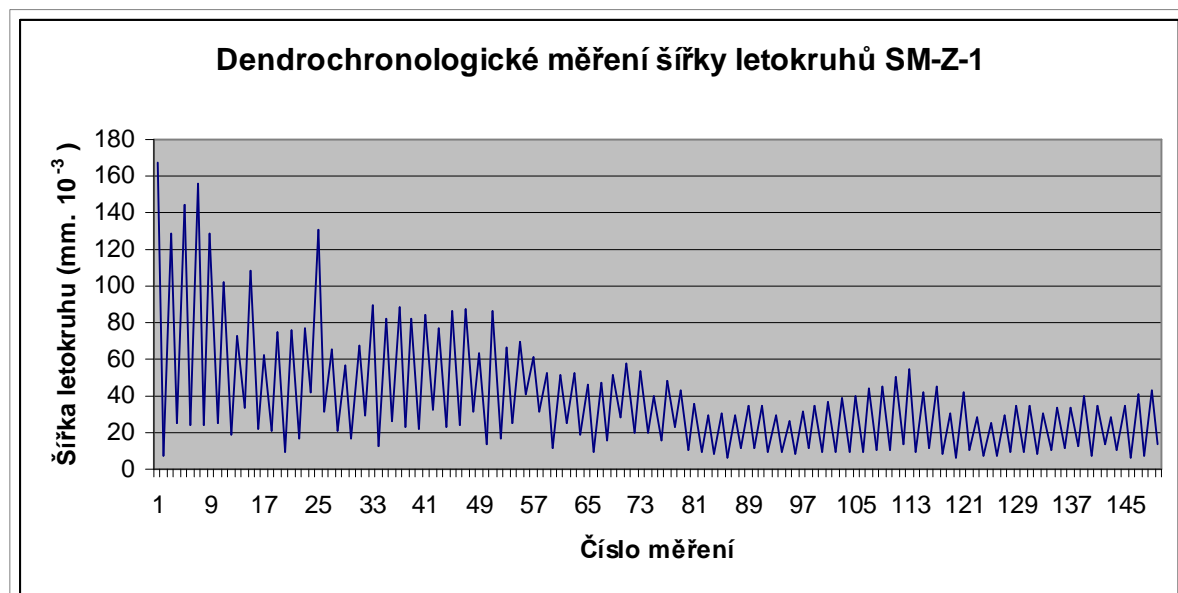
Obr. 21 Výsledky dendrochronologického měření vzorku SM-S-1



Obr. 22 Výsledky dendrochronologického měření vzorku SM-J-1



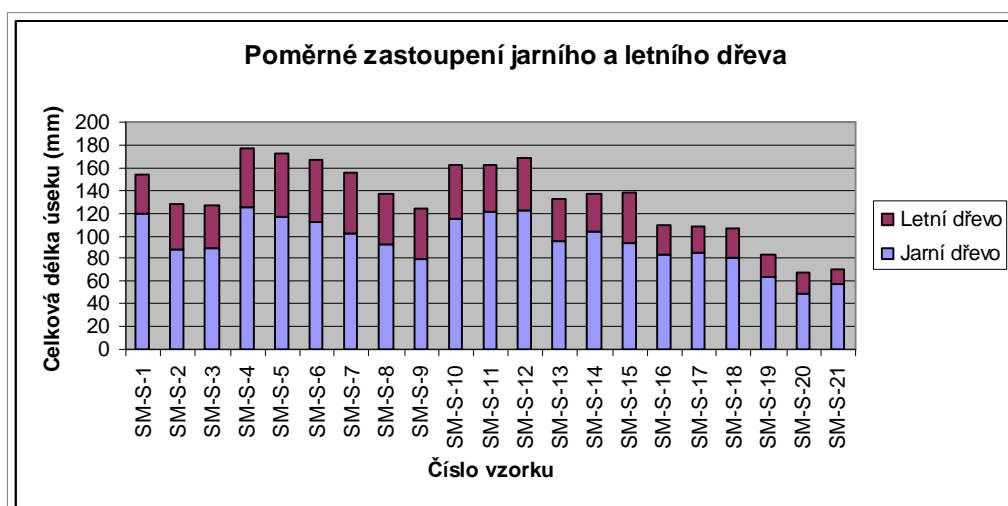
Obr. 23 Výsledky dendrochronologického měření vzorku SM-V-1



Obr. 24 Výsledky dendrochronologického měření vzorku SM-Z-1

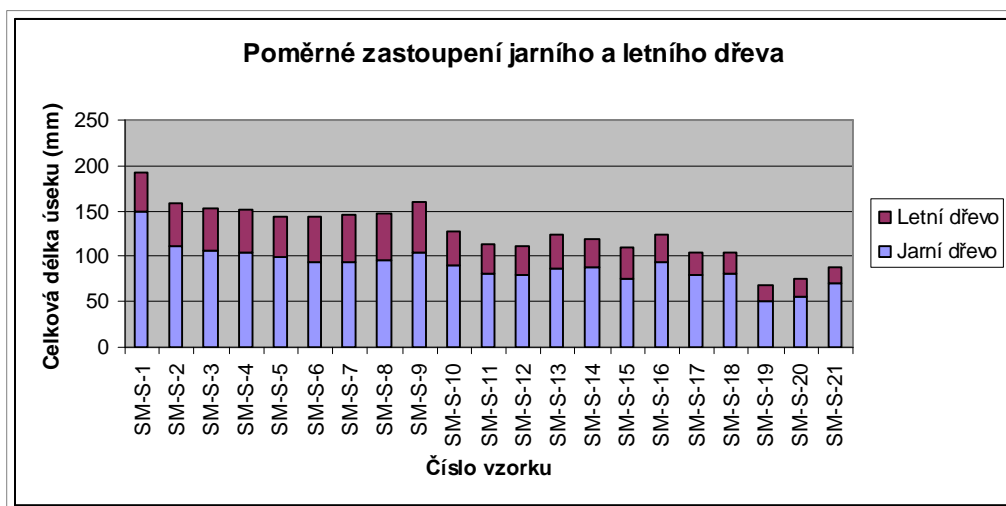
Tab. 13 Poměrné zastoupení jarního a letního dřeva ve zkušební vzorku

Označení vzorku	Zkušební vzorky		
	Celková délka úseku	Jarní dřevo	Letní dřevo
	mm	%	%
SM-S-1	154	78	22
SM-S-2	128	69	31
SM-S-3	127	70	30
SM-S-4	177	71	29
SM-S-5	172	68	32
SM-S-6	167	67	33
SM-S-7	155	66	34
SM-S-8	136	68	32
SM-S-9	124	64	36
SM-S-10	163	71	29
SM-S-11	163	74	26
SM-S-12	168	73	27
SM-S-13	133	71	29
SM-S-14	136	76	24
SM-S-15	138	68	32
SM-S-16	109	77	23
SM-S-17	108	78	22
SM-S-18	107	75	25
SM-S-19	83	77	23
SM-S-20	67	73	27
SM-S-21	71	82	18

**Obr. 25** Graf vyjadřující poměrné zastoupení jarního a letního dřeva v řezu SM-S

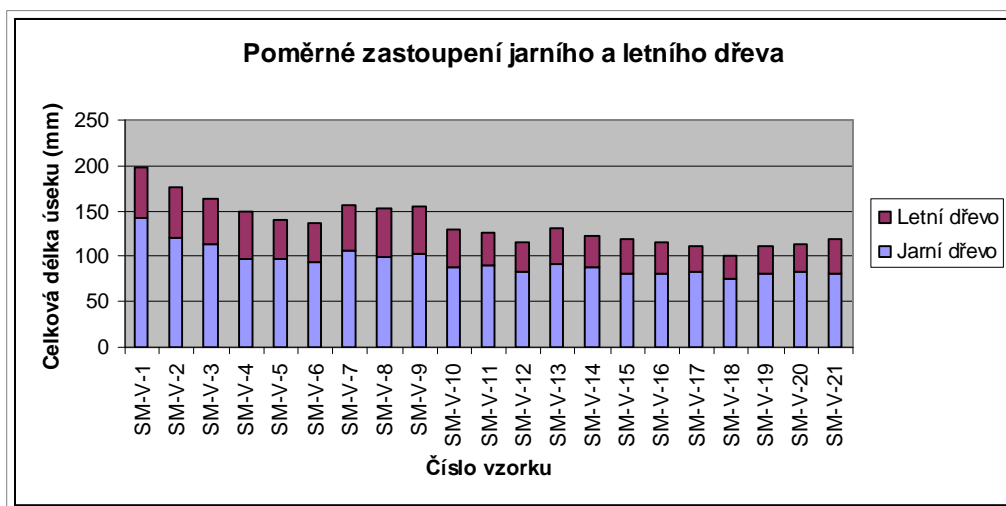
Tab. 14 Poměrné zastoupení jarního a letního dřeva ve zkušební vzorku

Označení vzorku	Zkušební vzorky		
	Celková délka úseku	Jarní dřevo	Letní dřevo
	mm	%	%
SM-J-1	193	77	23
SM-J-2	159	70	30
SM-J-3	152	70	30
SM-J-4	151	69	31
SM-J-5	143	69	31
SM-J-6	143	66	34
SM-J-7	145	65	33
SM-J-8	148	64	36
SM-J-9	160	65	35
SM-J-10	128	70	30
SM-J-11	113	72	28
SM-J-12	112	70	30
SM-J-13	124	70	30
SM-J-14	118	75	25
SM-J-15	109	69	31
SM-J-16	124	75	25
SM-J-17	104	76	24
SM-J-18	104	77	23
SM-J-19	68	75	25
SM-J-20	75	74	26
SM-J-21	88	79	21

**Obr. 26** Graf vyjadřující poměrné zastoupení jarního a letního dřeva v řezu SM-J

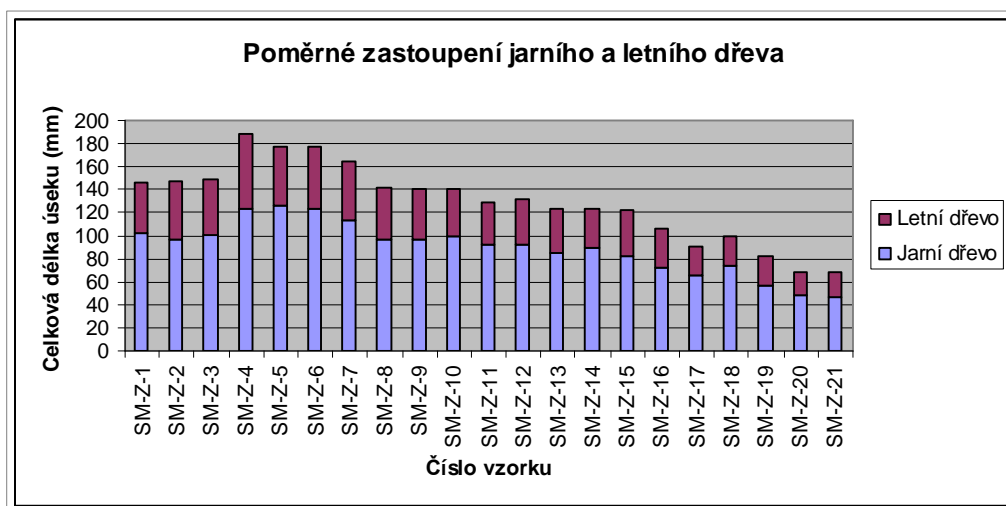
Tab. 15 Poměrné zastoupení jarního a letního dřeva ve zkušební vzorku

Označení vzorku	Zkušební vzorky		
	Celková délka úseku	Jarní dřevo	Letní dřevo
	mm	%	%
SM-V-1	197	72	28
SM-V-2	177	68	32
SM-V-3	163	69	31
SM-V-4	149	65	35
SM-V-5	140	70	30
SM-V-6	136	69	31
SM-V-7	157	68	26
SM-V-8	153	65	35
SM-V-9	155	66	34
SM-V-10	129	68	32
SM-V-11	126	71	29
SM-V-12	116	71	29
SM-V-13	132	70	30
SM-V-14	122	72	28
SM-V-15	118	68	32
SM-V-16	115	70	30
SM-V-17	112	74	26
SM-V-18	101	75	25
SM-V-19	112	72	28
SM-V-20	114	73	27
SM-V-21	118	68	32

**Obr. 27** Graf vyjadřující poměrné zastoupení jarního a letního dřeva v řezu SM-V

Tab. 16 Poměrné zastoupení jarního a letního dřeva ve zkušební vzorku

Označení vzorku	Zkušební vzorky		
	Celková délka úseku	Jarní dřevo	Letní dřevo
	mm	%	%
SM-Z-1	146	70	30
SM-Z-2	148	65	25
SM-Z-3	149	68	32
SM-Z-4	188	66	34
SM-Z-5	177	71	29
SM-Z-6	177	70	30
SM-Z-7	165	69	31
SM-Z-8	142	68	32
SM-Z-9	140	69	31
SM-Z-10	141	70	30
SM-Z-11	129	71	29
SM-Z-12	132	70	30
SM-Z-13	123	69	31
SM-Z-14	123	73	27
SM-Z-15	122	67	33
SM-Z-16	106	68	32
SM-Z-17	91	72	28
SM-Z-18	100	74	26
SM-Z-19	82	70	30
SM-Z-20	68	71	29
SM-Z-21	68	69	31

**Obr. 28** Graf vyjadřující poměrné zastoupení jarního a letního dřeva v řezu SM-Z

Tab. 17 Poměrné zastoupení jarního a letního dřeva

Označení vzorku	Pilodyn - zarážení trnu			Zatlačení trnu			Vytahování vrutu		
	Hloubka zarážení trnu	Jarní dřevo	Letní dřevo	Hloubka zatlačení trnu	Jarní dřevo	Letní dřevo	Délka vrutu	Jarní dřevo	Letní dřevo
	mm	%	%	mm	%	%	mm	%	%
SM-S-1	10,5	76	24	104,45	78	22	18	73	27
SM-S-2	11,5	71	29	108,05	68	32	18	69	31
SM-S-3	11,5	73	24	111,65	70	30	18	68	32
SM-S-4	11,5	62	38	111,15	67	33	18	66	34
SM-S-5	10,5	64	36	112,45	65	35	18	64	36
SM-S-6	12,5	67	33	111,60	64	36	18	68	32
SM-S-7	11,5	66	34	112,35	63	37	18	63	37
SM-S-8	11,5	73	27	111,85	67	33	18	73	27
SM-S-9	11,5	68	32	112,35	64	36	18	66	34
SM-S-10	12,5	70	30	109,60	68	32	18	65	35
SM-S-11	10,0	71	29	111,15	71	29	18	71	29
SM-S-12	12,0	74	26	111,10	70	30	18	73	27
SM-S-13	12,5	70	30	110,40	70	30	18	68	32
SM-S-14	13,0	74	26	110,60	75	25	18	75	25
SM-S-15	13,0	79	21	112,30	65	35	18	65	35
SM-S-16	12,5	83	17	110,95	77	23	18	79	21
SM-S-17	15,0	74	26	112,10	78	22	18	75	25
SM-S-18	13,0	79	21	111,00	75	25	18	79	21
SM-S-19	13,0	77	23	82,80	77	23	18	74	26
SM-S-20	12,0	76	24	76,75	73	27	18	74	26
SM-S-21	11,5	77	23	77,05	82	18	18	78	22

Tab. 18 Poměrné zastoupení jarního a letního dřeva

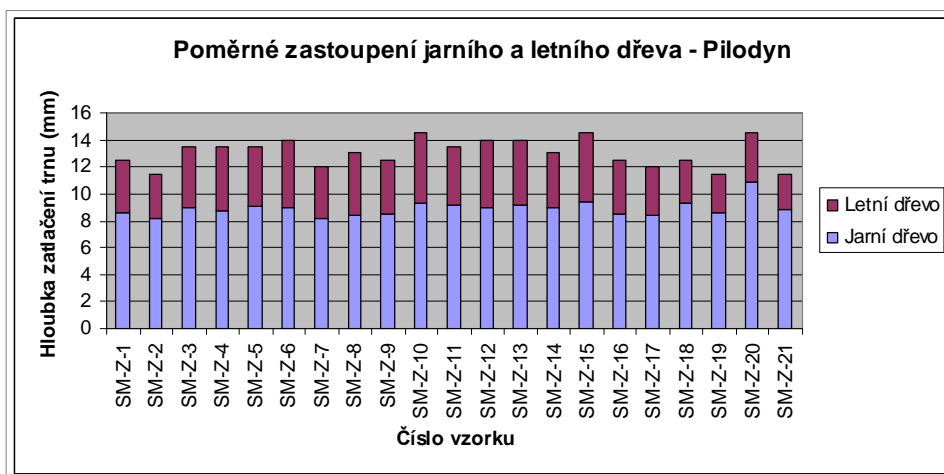
Označení vzorku	Pilodyn - zarážení trnu			Zatlačení trnu			Vytahování vrutu		
	Hloubka zarážení trnu	Jarní dřevo	Letní dřevo	Hloubka zatlačení trnu	Jarní dřevo	Letní dřevo	Délka vrutu	Jarní dřevo	Letní dřevo
	mm	%	%	mm	%	%	mm	%	%
SM-J-1	11,5	77	23	112,35	73	27	18	72	28
SM-J-2	12,5	70	30	111,65	69	31	18	68	32
SM-J-3	11,0	69	31	112,35	68	32	18	69	31
SM-J-4	11,5	70	30	110,15	70	30	18	68	32
SM-J-5	12,0	64	36	111,55	67	23	18	65	35
SM-J-6	12,0	66	34	109,30	68	32	18	67	33
SM-J-7	12,0	68	32	110,75	65	35	18	65	35
SM-J-8	13,5	64	36	112,15	66	34	18	66	34
SM-J-9	13,5	67	33	109,10	65	35	18	69	31
SM-J-10	12,0	69	31	110,65	69	31	18	67	33
SM-J-11	12,5	68	32	112,35	72	28	18	71	29
SM-J-12	12,5	70	30	112,00	72	28	18	71	29
SM-J-13	13,5	67	33	111,35	71	29	18	68	32
SM-J-14	13,5	68	32	109,80	73	27	18	70	30
SM-J-15	13,5	68	32	110,80	68	32	18	66	34
SM-J-16	14,0	66	34	107,30	76	24	18	69	31
SM-J-17	12,5	67	33	108,65	75	25	18	71	29
SM-J-18	12,5	68	32	108,75	77	23	18	70	30
SM-J-19	16,5	70	30	73,25	76	24	18	73	27
SM-J-20	14,5	72	28	84,10	72	28	18	74	26
SM-J-21	13,5	76	24	94,25	78	22	18	75	25

Tab. 19 Poměrné zastoupení jarního a letního dřeva

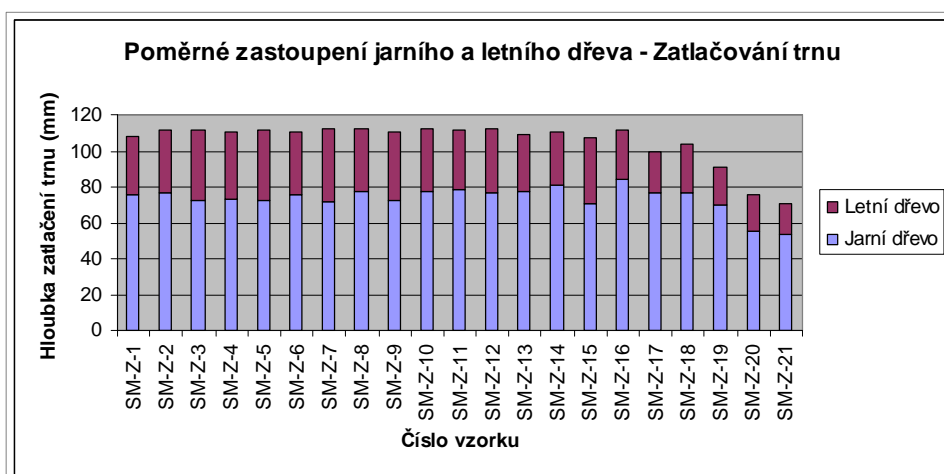
Označení vzorku	Pilodyn - zarážení trnu			Zatlačení trnu			Vytahování vrutu		
	Hloubka zaražení trnu	Jarní dřevo	Letní dřevo	Hloubka zatlačení trnu	Jarní dřevo	Letní dřevo	Délka vrutu	Jarní dřevo	Letní dřevo
	mm	%	%	mm	%	%	mm	%	%
SM-V-1	10,0	70	30	112,00	69	31	18	68	32
SM-V-2	10,5	70	30	111,05	69	31	18	69	31
SM-V-3	11,0	69	31	110,40	70	30	18	67	33
SM-V-4	11,0	66	34	110,55	67	33	18	65	35
SM-V-5	10,5	68	32	110,25	66	34	18	69	31
SM-V-6	11,0	66	34	111,75	65	35	18	68	32
SM-V-7	11,0	65	35	112,30	64	38	18	65	35
SM-V-8	10,5	71	29	104,50	63	37	18	72	28
SM-V-9	11,5	65	35	111,30	65	35	18	66	34
SM-V-10	11,0	69	31	108,55	66	34	18	67	33
SM-V-11	11,5	70	30	111,25	70	30	18	69	31
SM-V-12	14,0	64	36	110,80	71	29	18	70	30
SM-V-13	12,5	65	35	108,20	68	32	18	67	33
SM-V-14	10,0	73	27	110,15	74	26	18	75	25
SM-V-15	13,0	68	32	108,50	67	33	18	66	34
SM-V-16	13,0	75	25	111,00	75	25	18	76	24
SM-V-17	13,0	74	26	111,80	76	24	18	74	26
SM-V-18	12,5	77	23	109,65	74	26	18	78	22
SM-V-19	12,5	75	25	112,20	75	25	18	73	27
SM-V-20	12,5	74	26	106,00	74	26	18	72	28
SM-V-21	14,5	70	30	112,30	80	20	18	74	26

Tab. 20 Poměrné zastoupení jarního a letního dřeva

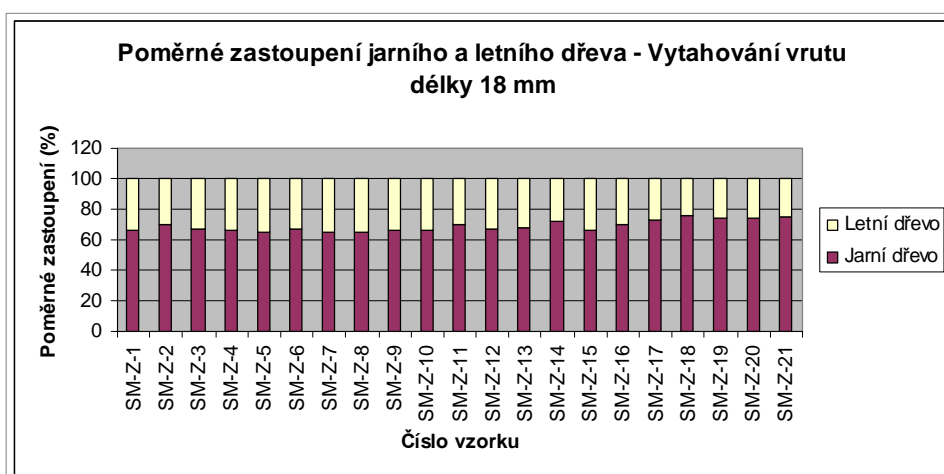
Označení vzorku	Pilodyn - zarážení trnu			Zatlačení trnu			Vytahování vrutu		
	Hloubka zaražení trnu	Jarní dřevo	Letní dřevo	Hloubka zatlačení trnu	Jarní dřevo	Letní dřevo	Délka vrutu	Jarní dřevo	Letní dřevo
	mm	%	%	mm	%	%	mm	%	%
SM-Z-1	12,5	69	31	107,80	70	30	18	66	34
SM-Z-2	11,5	71	29	111,25	69	31	18	70	30
SM-Z-3	13,5	66	34	111,15	65	35	18	67	33
SM-Z-4	13,5	65	35	110,90	66	34	18	66	34
SM-Z-5	13,5	67	33	111,10	65	35	18	65	35
SM-Z-6	14,0	64	36	110,90	68	32	18	67	33
SM-Z-7	12,0	68	32	112,20	64	36	18	65	35
SM-Z-8	13,0	65	35	112,40	69	31	18	65	35
SM-Z-9	12,5	68	32	111,05	65	35	18	66	34
SM-Z-10	14,5	64	36	112,20	69	31	18	66	34
SM-Z-11	13,5	68	32	111,25	70	30	18	70	30
SM-Z-12	14,0	64	36	112,15	68	32	18	67	33
SM-Z-13	14,0	66	34	108,55	71	29	18	68	32
SM-Z-14	13,0	69	31	110,90	73	27	18	72	28
SM-Z-15	14,5	65	35	107,00	66	34	18	66	34
SM-Z-16	12,5	68	32	111,90	75	25	18	70	30
SM-Z-17	12,0	70	30	100,00	77	23	18	73	27
SM-Z-18	12,5	74	26	104,05	74	26	18	76	24
SM-Z-19	11,5	75	35	91,30	76	24	18	74	26
SM-Z-20	14,5	75	25	75,45	73	27	18	74	26
SM-Z-21	11,5	77	23	70,65	76	24	18	75	25



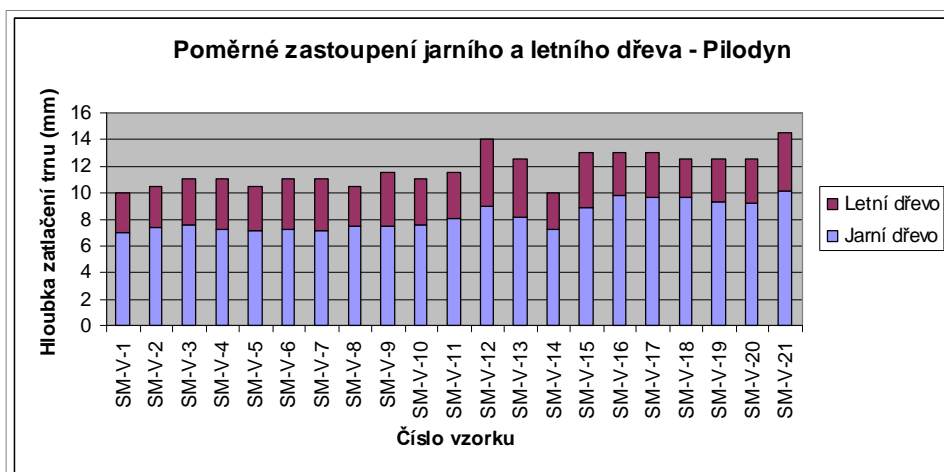
Obr. 29 Poměrné zastoupení jarního a letního dřeva v řezu SM-Z-1 až SM-Z-21 pro hodnoty průniku hrotu odporového přístroje Pilodyn 6J Forest



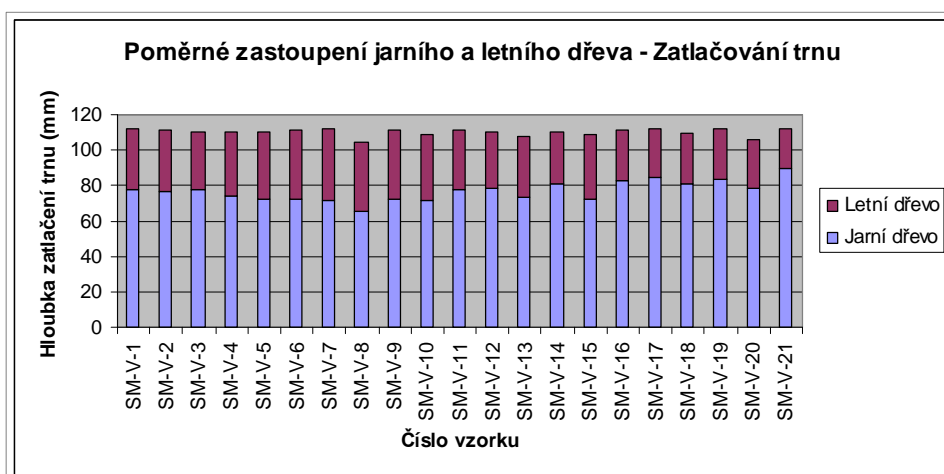
Obr. 30 Poměrné zastoupení jarního a letního dřeva v řezu SM-Z-1 až SM-Z-21 pro hodnoty průniku trnu do vzorku



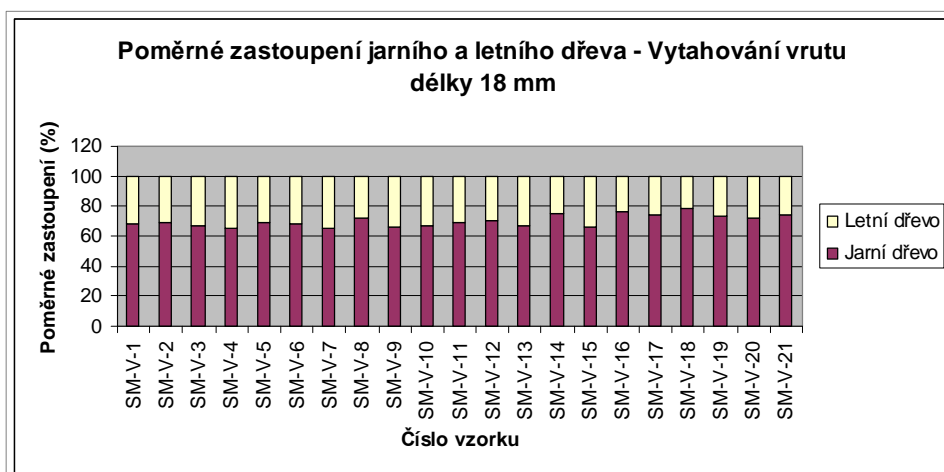
Obr. 31 Poměrné zastoupení jarního a letního dřeva v řezu SM-S-1 až SM-S-21 pro hodnoty průniku vrutu do vzorku



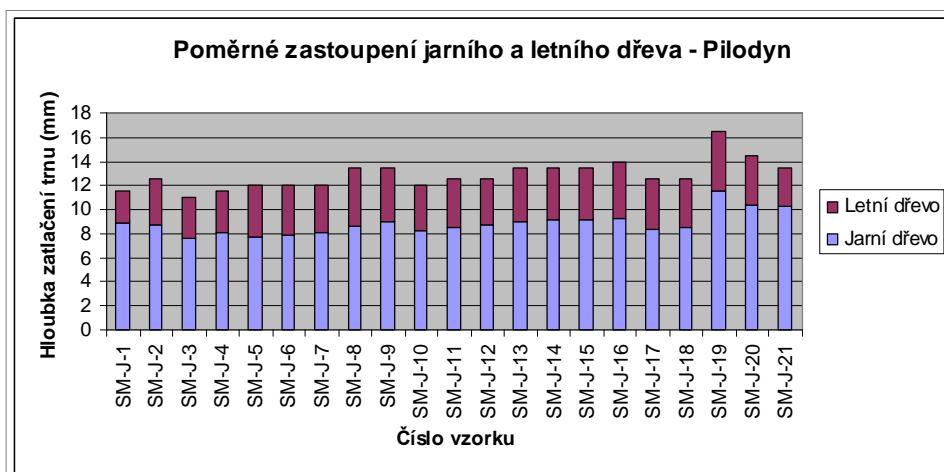
Obr. 32 Poměrné zastoupení jarního a letního dřeva v řezu SM-V-1 až SM-V-21 pro hodnoty průniku hrotu odporového přístroje Pilodyn 6J Forest



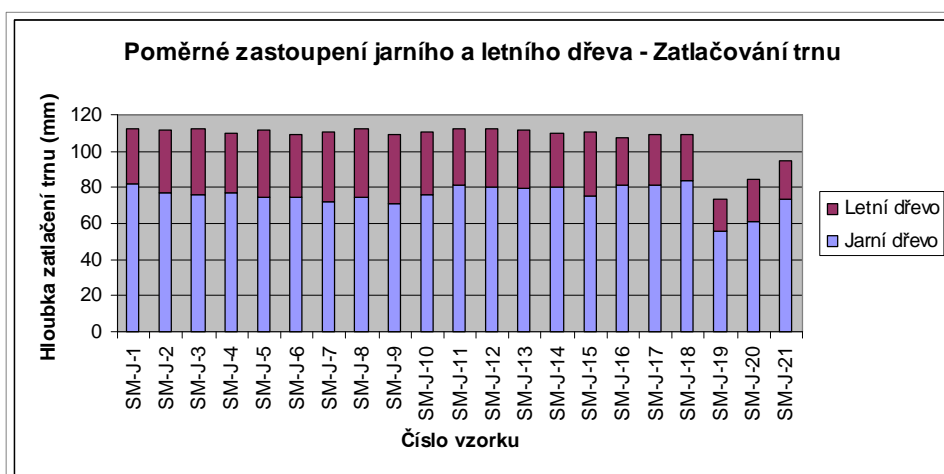
Obr. 33 Poměrné zastoupení jarního a letního dřeva v řezu SM-V-1 až SM-V-21 pro hodnoty průniku trnu do vzorku



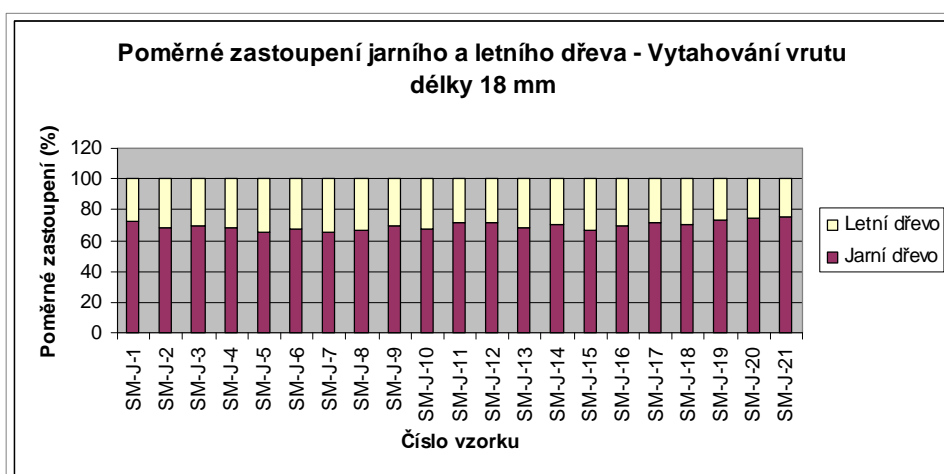
Obr. 34 Poměrné zastoupení jarního a letního dřeva v řezu SM-V-1 až SM-V-21 pro hodnoty průniku vrutu do vzorku



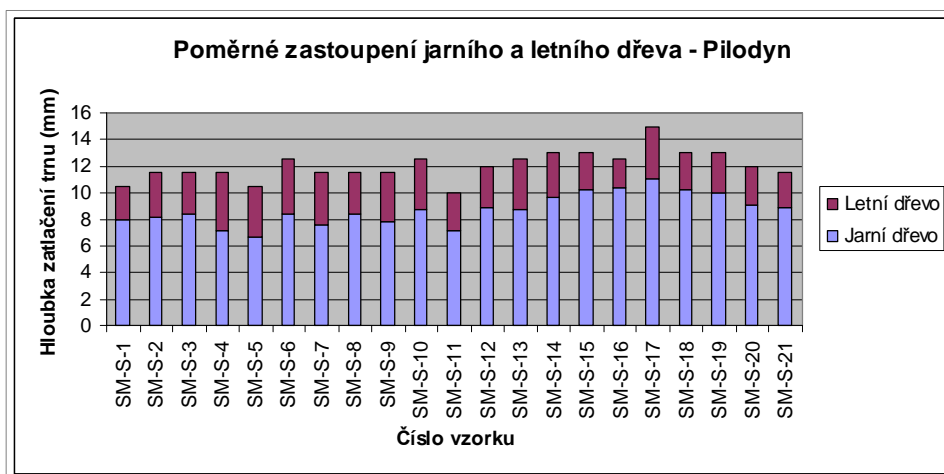
Obr. 35 Poměrné zastoupení jarního a letního dřeva v řezu SM-J-1 až SM-J-21 pro hodnoty průniku hrotu odporového přístroje Pilodyn 6J Forest



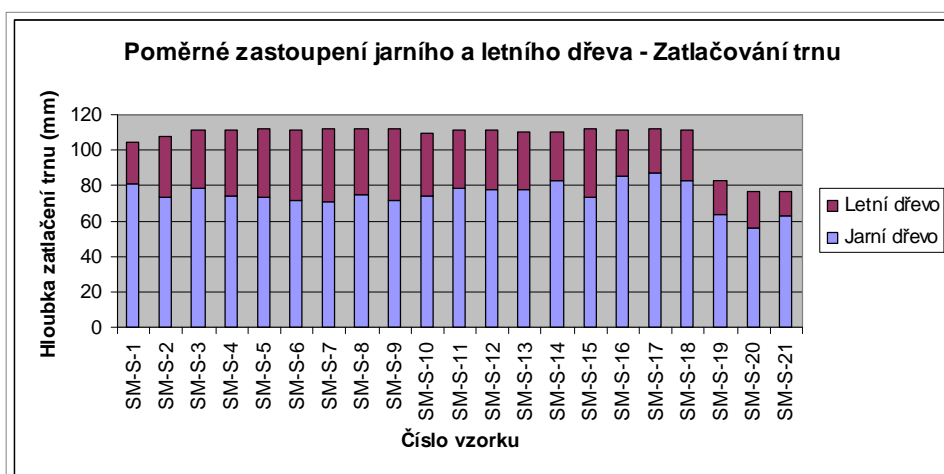
Obr. 36 Poměrné zastoupení jarního a letního dřeva v řezu SM-J-1 až SM-J-21 pro hodnoty průniku trnu do vzorku



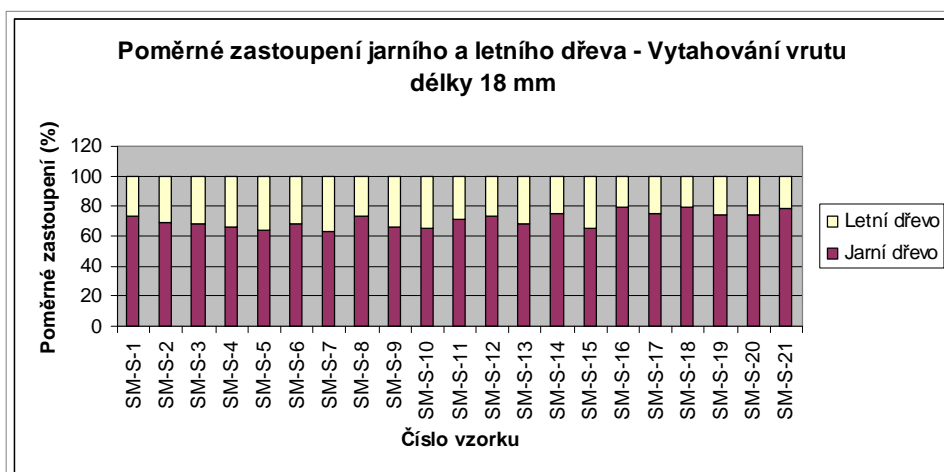
Obr. 37 Poměrné zastoupení jarního a letního dřeva v řezu SM-J-1 až SM-J-21 pro hodnoty průniku vrutu do vzorku



Obr. 38 Poměrné zastoupení jarního a letního dřeva v řezu SM-S-1 až SM-S-21 pro hodnoty průniku hrotu odporového přístroje Pilodyn 6J Forest



Obr. 39 Poměrné zastoupení jarního a letního dřeva v řezu SM-J-1 až SM-J-21 pro hodnoty průniku trnu do vzorku



Obr. 40 Poměrné zastoupení jarního a letního dřeva v řezu SM-S-1 až SM-S-21 pro hodnoty průniku vrutu do vzorku

D) Stanovení hustoty a pevnosti v tlaku napříč vláken

Tab. 21 Stanovení hustoty dřeva pro řez SM-S-1 až SM-S-21

Řez	Vzorek	Rozměry zkušebních vzorků			Hmotnost	Hustota	
		Šířka	Délka	Výška		kg/m ³	kg/m ³
		mm	mm	mm			
SM-S-1	SM-S-1-1	29,90	30,29	60,06	25,70	472	475
	SM-S-1-2	30,01	30,15	59,85	25,81	477	
SM-S-2	SM-S-2-1	29,77	30,03	60,15	26,92	501	519
	SM-S-2-2	30,05	29,95	59,78	28,83	536	
SM-S-3	SM-S-3-1	29,88	30,01	59,96	26,87	500	518
	SM-S-3-2	29,55	30,06	59,86	28,49	536	
SM-S-4	SM-S-4-1	29,90	30,09	59,94	27,04	501	521
	SM-S-4-2	29,92	30,06	59,86	29,14	541	
SM-S-5	SM-S-5-1	29,90	30,04	59,92	27,29	507	530
	SM-S-5-2	29,89	30,07	60,36	29,94	552	
SM-S-6	SM-S-6-1	30,01	30,00	59,94	26,82	497	523
	SM-S-6-2	29,93	30,04	59,60	29,39	548	
SM-S-7	SM-S-7-1	29,97	30,02	60,16	28,12	520	532
	SM-S-7-2	29,91	30,01	60,00	29,23	543	
SM-S-8	SM-S-8-1	29,91	29,97	59,80	27,56	514	521
	SM-S-8-2	29,83	29,91	59,84	28,18	528	
SM-S-9	SM-S-9-1	29,77	30,12	59,89	27,71	516	533
	SM-S-9-2	29,88	30,08	59,51	29,41	550	
SM-S-10	SM-S-10-1	29,82	30,07	59,94	27,05	503	515
	SM-S-10-2	29,90	30,12	59,91	28,38	526	
SM-S-11	SM-S-11-1	29,81	30,01	59,90	26,41	493	506
	SM-S-11-2	29,91	29,87	59,86	27,68	518	
SM-S-12	SM-S-12-1	29,95	30,01	60,02	26,99	500	509
	SM-S-12-2	29,77	30,04	59,75	27,62	517	
SM-S-13	SM-S-13-1	29,83	30,00	59,87	26,41	493	500
	SM-S-13-2	29,96	30,01	59,57	27,15	507	
SM-S-14	SM-S-14-1	29,98	30,06	60,15	25,35	468	483
	SM-S-14-2	29,8	30,04	60,14	26,8	498	
SM-S-15	SM-S-15-1	29,94	30,02	59,86	26,45	492	501
	SM-S-15-2	29,78	30,05	59,63	27,18	509	
SM-S-16	SM-S-16-1	29,84	30,12	59,91	24,81	461	461
SM-S-17	SM-S-17-1	29,73	30,05	60,07	25,71	479	479
SM-S-18	SM-S-18-1	29,94	30,12	59,96	26,96	499	499
SM-S-19	SM-S-19-1	29,92	30,10	59,94	25,14	466	466
SM-S-20	SM-S-20-1	29,85	30,08	59,83	25,19	469	469
SM-S-21	SM-S-21-1	29,83	30,11	60,06	25,39	471	471

Tab. 22 Stanovení hustoty dřeva pro řez SM-J-1 až SM-J-21

Řez	Vzorek	Rozměry zkušebních vzorků			Hmotnost	Hustota	
		Šířka	Délka	Výška		kg/m ³	kg/m ³
		mm	mm	mm			
SM-J-1	SM-J-1-1	29,85	30,16	60,08	26,05	482	515
	SM-J-1-2	29,63	30,02	59,97	28,23	529	
SM-J-2	SM-J-2-1	29,99	30,12	59,84	27,09	501	525
	SM-J-2-2	29,86	30,16	59,69	29,15	542	
SM-J-3	SM-J-3-1	30,04	30,18	59,83	27,48	507	524
	SM-J-3-2	29,93	30,15	59,73	29,33	544	
SM-J-4	SM-J-4-1	29,83	30,08	60,04	27,09	503	525
	SM-J-4-2	29,57	30,07	59,70	29,36	553	
SM-J-5	SM-J-5-1	29,74	30,12	60,02	26,68	496	520
	SM-J-5-2	29,88	30,04	59,73	29,11	543	
SM-J-6	SM-J-6-1	29,91	29,98	59,90	26,72	497	516
	SM-J-6-2	29,95	30,20	59,92	29,55	545	
SM-J-7	SM-J-7-1	29,99	30,16	59,83	26,32	486	504
	SM-J-7-2	29,91	30,22	59,88	28,68	530	
SM-J-8	SM-J-8-1	29,91	30,10	60,13	25,85	478	506
	SM-J-8-2	29,72	30,08	59,80	28,95	542	
SM-J-9	SM-J-9-1	29,94	30,06	59,97	25,39	470	512
	SM-J-9-2	29,94	30,12	59,84	28,21	523	
SM-J-10	SM-J-10-1	29,84	30,12	59,82	26,90	500	500
SM-J-11	SM-J-11-1	29,87	30,06	59,88	25,62	477	477
SM-J-12	SM-J-12-1	29,86	30,00	59,83	26,37	492	492
SM-J-13	SM-J-13-1	29,88	30,02	59,93	25,38	472	472
SM-J-14	SM-J-14-1	29,89	29,98	60,10	24,53	455	455
SM-J-15	SM-J-15-1	29,92	30,08	59,98	24,75	458	458
SM-J-16	SM-J-16-1	30,06	30,00	59,60	24,05	447	447
SM-J-17	SM-J-17-1	29,93	30,09	59,84	25,35	470	470
SM-J-18	SM-J-18-1	29,93	30,09	59,82	25,30	470	470
SM-J-19	SM-J-19-1	29,77	30,11	60,04	24,81	461	461
SM-J-20	SM-J-20-1	29,98	30,11	59,97	24,29	449	449
SM-J-21	SM-J-21-1	29,97	30,15	59,65	24,78	460	460

Tab. 23 Stanovení hustoty dřeva pro řez SM-V-1 až SM-V-21

Řez	Vzorek	Rozměry zkušebních vzorků			Hmotnost	Hustota	
		Šířka	Délka	Výška		kg/m ³	kg/m ³
		mm	mm	mm			
SM-V-1	SM-V-1-1	29,92	30,03	59,95	28,05	521	522
	SM-V-1-2	29,74	30,03	59,80	27,00	506	
	SM-V-1-3	29,70	30,06	59,43	28,63	540	
SM-V-2	SM-V-2-1	29,93	30,01	60,12	28,36	525	526
	SM-V-2-2	29,82	29,75	59,83	27,96	527	
SM-V-3	SM-V-3-1	30,01	30,01	60,16	29,13	538	533
	SM-V-3-2	29,83	30,03	59,79	28,29	528	
SM-V-4	SM-V-4-1	29,78	30,01	60,01	28,25	527	531
	SM-V-4-2	29,77	30,05	59,73	28,52	534	
SM-V-5	SM-V-5-1	29,89	29,95	59,95	28,51	531	529
	SM-V-5-2	29,84	30,00	59,67	28,14	527	
SM-V-6	SM-V-6-1	29,91	29,95	60,00	28,73	535	536
	SM-V-6-2	29,90	30,06	59,98	28,93	537	
SM-V-7	SM-V-7-1	29,89	30,16	60,03	29,53	546	534
	SM-V-7-2	29,95	30,09	59,81	28,10	521	
SM-V-8	SM-V-8-1	29,88	29,99	59,93	28,66	534	529
	SM-V-8-2	29,86	30,04	59,78	28,02	523	
SM-V-9	SM-V-9-1	29,95	30,07	59,96	29,14	540	540
	SM-V-9-2	29,84	30,05	59,78	28,90	539	
SM-V-10	SM-V-10-1	29,96	30,14	59,98	28,76	531	528
	SM-V-10-2	29,78	30,07	59,76	28,10	525	
SM-V-11	SM-V-11-1	29,87	29,97	59,90	28,61	534	534
	SM-V-11-2	29,74	29,97	59,66	28,42	534	
SM-V-12	SM-V-12-1	29,93	30,01	59,94	27,67	514	524
SM-V-13	SM-V-13-1	29,82	30,02	59,78	28,02	524	517
	SM-V-13-2	29,93	30,05	59,60	27,34	510	
SM-V-14	SM-V-14-1	29,87	30,01	59,94	27,63	514	514
SM-V-15	SM-V-15-1	29,99	30,04	59,78	27,80	516	516
SM-V-16	SM-V-16-1	29,94	29,99	59,70	26,30	491	491
SM-V-17	SM-V-17-1	30,00	29,95	59,96	26,65	495	495
SM-V-18	SM-V-18-1	29,99	30,06	59,80	26,66	495	495
SM-V-19	SM-V-19-1	29,85	30,03	59,59	26,26	492	492
SM-V-20	SM-V-20-1	29,74	29,98	59,83	24,37	457	457
SM-V-21	SM-V-21-1	29,82	30,03	59,73	26,61	497	497

Tab. 24 Stanovení hustoty dřeva pro řez SM-Z-1 až SM-Z-21

Řez	Vzorek	Rozměry zkušebních vzorků			Hmotnost	Hustota	
		Šířka	Délka	Výška		kg/m ³	kg/m ³
		mm	mm	mm			
SM-Z-1	SM-Z-1-1	29,94	30,13	59,76	29,90	555	534
	SM-Z-1-2	29,83	30,07	60,01	27,54	512	
SM-Z-2	SM-Z-2-1	29,93	30,11	59,87	27,61	512	532
	SM-Z-2-2	29,91	30,22	59,77	29,84	552	
SM-Z-3	SM-Z-3-1	29,80	30,09	59,95	27,53	512	526
	SM-Z-3-2	29,94	30,15	59,79	29,08	539	
SM-Z-4	SM-Z-4-1	29,94	30,00	59,90	26,31	489	506
	SM-Z-4-2	29,80	30,10	59,64	27,92	522	
SM-Z-5	SM-Z-5-1	29,90	29,98	59,87	26,66	497	512
	SM-Z-5-2	29,81	30,05	59,83	28,18	526	
SM-Z-6	SM-Z-6-1	29,78	30,04	59,91	26,44	493	518
	SM-Z-6-2	29,83	30,00	59,70	28,97	542	
SM-Z-7	SM-Z-7-1	29,81	30,06	59,96	26,62	495	512
	SM-Z-7-2	29,52	30,12	59,71	28,03	528	
SM-Z-8	SM-Z-8-1	29,83	30,19	60,07	26,88	497	514
	SM-Z-8-2	29,98	30,03	59,93	28,62	530	
SM-Z-9	SM-Z-9-1	29,91	30,23	60,01	26,64	491	511
	SM-Z-9-2	29,52	30,30	59,95	28,43	530	
SM-Z-10	SM-Z-10-1	29,90	30,09	60,03	24,80	459	487
	SM-Z-10-2	30,00	30,30	59,72	27,92	514	
SM-Z-11	SM-Z-11-1	29,86	30,00	59,96	24,90	464	486
	SM-Z-11-2	29,99	30,03	59,46	27,23	508	
SM-Z-12	SM-Z-12-1	29,87	30,00	60,02	25,29	470	487
	SM-Z-12-2	30,03	30,09	59,79	27,19	503	
SM-Z-13	SM-Z-13-1	29,83	30,07	59,92	25,25	470	486
	SM-Z-13-2	30,02	30,02	59,88	27,09	502	
SM-Z-14	SM-Z-14-1	28,40	30,06	59,75	23,54	461	482
	SM-Z-14-2	29,34	30,02	58,57	25,92	502	
SM-Z-15	SM-Z-15-1	30,01	30,21	59,94	24,86	457	457
SM-Z-16	SM-Z-16-1	29,85	30,09	59,66	24,14	450	450
SM-Z-17	SM-Z-17-1	29,95	30,05	59,92	24,14	448	448
SM-Z-18	SM-Z-18-1	29,88	30,15	59,69	24,48	455	455
SM-Z-19	SM-Z-19-1	29,49	30,04	59,75	23,72	448	448
SM-Z-20	SM-Z-20-1	29,95	30,09	59,64	24,14	449	449
SM-Z-21	SM-Z-21-1	29,77	30,06	59,70	24,13	452	452

Tab. 25 Pevnost dřeva v tlaku napříč vláken pro řez SM-S-1 až SM-S-10

Řez	Vzorek	Hustota		Pevnostní parametry							
				E _{mod}		Pevnost		Deformace		Napětí	
		kg/m ³	kg/m ³	MPa	MPa	MPa	MPa	mm	mm	MPa	MPa
SM-S-1	SM-S-1-1	472	475	644	773	2,95	3,19	0,78	1,01	3,0	3,00
	SM-S-1-2	477		902		3,43		1,23		3,0	
SM-S-2	SM-S-2-1	501	519	856	967	3,53	3,53	1,17	1,75	3,0	2,75
	SM-S-2-2	536		1077		3,52		2,32		2,5	
SM-S-3	SM-S-3-1	500	518	1079	952	3,98	3,92	1,07	1,08	3,0	3,00
	SM-S-3-2	536		824		3,86		1,08		3,0	
SM-S-4	SM-S-4-1	501	521	844	786	4,25	3,74	2,14	1,52	3,5	3,50
	SM-S-4-2	541		728		3,23		0,89		3,5	
SM-S-5	SM-S-5-1	507	530	692	671	2,91	3,05	0,98	1,05	3,5	3,25
	SM-S-5-2	552		649		3,19		1,11		3,0	
SM-S-6	SM-S-6-1	497	523	631	529	3,05	2,88	1,16	1,16	3,0	2,75
	SM-S-6-2	548		426		2,70		1,15		2,5	
SM-S-7	SM-S-7-1	520	532	710	687	3,47	3,41	1,45	1,18	3,0	3,00
	SM-S-7-2	543		665		3,35		0,91		3,0	
SM-S-8	SM-S-8-1	514	521	510	646	2,19	2,92	0,87	0,93	3,5	4,00
	SM-S-8-2	528		783		3,65		0,99		4,5	
SM-S-9	SM-S-9-1	516	533	991	956	4,06	4,08	1,15	1,08	3,0	3,50
	SM-S-9-2	550		921		4,10		1,00		4,0	
SM-S-10	SM-S-10-1	503	515	658	654	2,87	3,06	0,92	1,00	3,0	3,50
	SM-S-10-2	526		650		3,24		1,07		4,0	

Tab. 25 Pevnost dřeva v tlaku napříč vláken pro řez SM-S-11 až SM-S-21

Řez	Vzorek	Hustota		Pevnostní parametry							
				E _{mod}		Pevnost		Deformace		Napětí	
		kg/m ³	kg/m ³	MPa	MPa	MPa	MPa	mm	mm	MPa	MPa
SM-S-11	SM-S-11-1	493	506	636	822	3,17	3,63	0,83	1,03	3,0	3,00
	SM-S-11-2	518		1008		4,08		1,22		3,0	
SM-S-12	SM-S-12-1	500	509	594	665	3,12	3,22	0,94	0,90	3,0	3,50
	SM-S-12-2	517		735		3,31		0,85		4,0	
SM-S-13	SM-S-13-1	493	500	988	893	4,46	4,41	0,98	1,20	4,0	4,00
	SM-S-13-2	507		798		4,35		1,42		4,0	
SM-S-14	SM-S-14-1	468	483	847,25	748	3,91	3,80	0,99	1,06	3,5	3,25
	SM-S-14-2	498		649,13		3,68		1,13		3,0	
SM-S-15	SM-S-15-1	492	501	762	806	3,84	3,85	0,94	0,95	3,5	3,25
	SM-S-15-2	509		850		3,86		0,95		3,0	
SM-S-16	SM-S-16-1	461	461	706	778	3,41	3,41	0,85	0,85	4,0	4,0
SM-S-17	SM-S-17-1	479	479	631	668	3,49	3,49	1,09	1,09	4,0	4,0
SM-S-18	SM-S-18-1	499	499	727	679	3,37	3,37	1,06	1,06	4,5	4,5
SM-S-19	SM-S-19-1	466	466	416	571	2,13	2,13	0,64	0,64	3,5	3,5
SM-S-20	SM-S-20-1	469	469	643	529	3,09	3,09	0,87	0,87	4,5	4,5
SM-S-21	SM-S-21-1	471	471	655	649	2,98	2,98	1,06	1,06	4,5	4,5

Tab. 26 Pevnost dřeva v tlaku napříč vláken pro řez SM-J-1 až SM-J-10

Řez	Vzorek	Hustota		Pevnostní parametry							
				E _{mod}		Pevnost		Deformace		Napětí	
		kg/m ³	kg/m ³	MPa	MPa	MPa	MPa	mm	mm	MPa	MPa
SM-J-1	SM-J-1-1	482	515	1090	1020	4,75	4,68	0,86	2,21	0,86	2,21
	SM-J-1-2	529		950		4,60		3,56		3,56	
SM-J-2	SM-J-2-1	501	525	697	786	3,96	3,91	1,11	1,29	1,11	1,29
	SM-J-2-2	542		875		3,86		1,47		1,47	
SM-J-3	SM-J-3-1	507	524	641	634	2,81	3,08	0,82	0,98	0,82	0,98
	SM-J-3-2	544		626		3,34		1,14		1,14	
SM-J-4	SM-J-4-1	503	525	765	736	3,53	3,59	1,03	1,12	1,03	1,12
	SM-J-4-2	553		708		3,65		1,20		1,20	
SM-J-5	SM-J-5-1	496	520	809	664	3,57	3,06	1,23	1,06	1,23	1,06
	SM-J-5-2	543		520		2,54		0,88		0,88	
SM-J-6	SM-J-6-1	497	516	946	796	3,66	3,58	1,48	1,34	1,48	1,34
	SM-J-6-2	545		646		3,50		1,20		1,20	
SM-J-7	SM-J-7-1	486	50	915	940	4,42	4,20	1,56	1,36	1,56	1,36
	SM-J-7-2	530		965		3,97		1,15		1,15	
SM-J-8	SM-J-8-1	478	506	648	755	3,16	3,62	0,89	0,90	0,89	0,90
	SM-J-8-2	542		862		4,07		0,91		0,91	
SM-J-9	SM-J-9-1	470	512	1059	874	4,28	3,78	1,47	1,19	1,47	1,19
	SM-J-9-2	523		690		3,27		0,91		0,91	
SM-J-10	SM-J-10-1	500	500	746	718	3,21	3,21	1,19	1,19	1,19	1,19

Tab. 26 Pevnost dřeva v tlaku napříč vláken pro řez SM-J-11 až SM-J-21

Řez	Vzorek	Hustota		Pevnostní parametry							
				E _{mod}		Pevnost		Deformace		Napětí	
		kg/m ³	kg/m ³	MPa	MPa	MPa	MPa	mm	mm	MPa	MPa
SM-J-11	SM-J-11-1	477	477	767	756	3,50	3,50	0,92	0,92	0,92	0,92
SM-J-12	SM-J-12-1	492	492	954	860	3,97	3,97	1,18	1,18	1,18	1,18
SM-J-13	SM-J-13-1	472	472	1094	1024	4,18	4,18	1,14	1,14	1,14	1,14
SM-J-14	SM-J-14-1	455	455	932	1013	3,81	3,81	1,20	1,20	1,20	1,20
SM-J-15	SM-J-15-1	458	458	743	837	3,12	3,12	1,01	1,01	1,01	1,01
SM-J-16	SM-J-16-1	447	447	515	629	2,33	2,33	1,21	1,21	1,21	1,21
SM-J-17	SM-J-17-1	470	470	528	522	2,38	2,38	0,90	0,90	0,90	0,90
SM-J-18	SM-J-18-1	470	470	725	627	3,14	3,14	0,84	0,84	0,84	0,84
SM-J-19	SM-J-19-1	461	461	365	545	1,79	1,79	0,82	0,82	0,82	0,82
SM-J-20	SM-J-20-1	449	449	634	499	3,00	3,00	0,75	0,75	0,75	0,75
SM-J-21	SM-J-21-1	460	460	769	701	3,93	3,93	1,23	1,23	1,23	1,23

Tab. 27 Pevnost dřeva v tlaku napříč vláken pro řez SM-V-1 až SM-V-10

Řez	Vzorek	Hustota		Pevnostní parametry							
				E _{mod}		Pevnost		Deformace		Napětí	
		kg/m ³	kg/m ³	MPa	MPa	MPa	MPa	mm	mm	MPa	MPa
SM-V-1	SM-V-1-1	521	522	844	936	4,04	3,99	1,06	1,18	4	3,67
	SM-V-1-2	506		738		3,33		0,96		3	
	SM-V-1-3	540		1226		4,61		1,51		4	
SM-V-2	SM-V-2-1	525	526	932	1041	4,39	4,47	0,76	0,91	4	4,00
	SM-V-2-2	527		1150		4,54		1,05		4	
SM-V-3	SM-V-3-1	538	533	990	881	4,28	3,89	1,07	1,04	4	3,50
	SM-V-3-2	528		772		3,49		1,00		3	
SM-V-4	SM-V-4-1	527	531	893	876	3,82	3,69	1,08	1,10	3,5	3,50
	SM-V-4-2	534		860		3,56		1,11		3,5	
SM-V-5	SM-V-5-1	531	529	1196	1076	4,58	4,34	1,03	1,00	4,5	4,25
	SM-V-5-2	527		956		4,10		0,96		4	
SM-V-6	SM-V-6-1	535	536	1082	796	4,02	3,40	1,00	0,94	3	3,00
	SM-V-6-2	537		511		2,78		0,87		3	
SM-V-7	SM-V-7-1	546	534	983	903	4,64	4,04	2,37	1,66	3	3,00
	SM-V-7-2	521		823		3,44		0,95		3	
SM-V-8	SM-V-8-1	534	529	1513	1162	4,58	3,98	1,46	1,24	4	4,00
	SM-V-8-2	523		810		3,38		1,01		4	
SM-V-9	SM-V-9-1	540	540	913	733	4,92	3,86	1,99	1,49	4,5	3,75
	SM-V-9-2	539		552		2,80		0,98		3	
SM-V-10	SM-V-10-1	531	528	989	888	4,43	4,10	1,33	1,14	4,5	4,25
	SM-V-10-2	525		787		3,77		0,95		4	

Tab. 27 Pevnost dřeva v tlaku napříč vláken pro řez SM-V-11 až SM-V-21

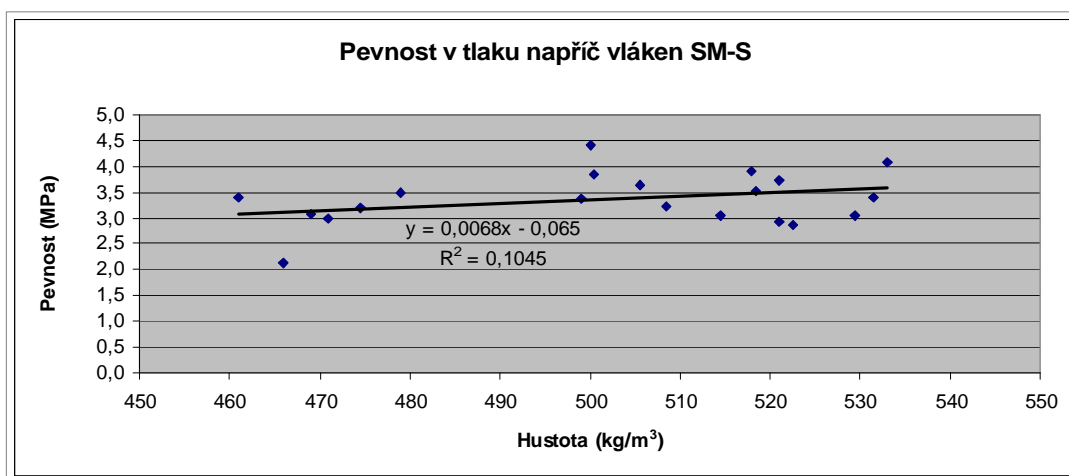
Řez	Vzorek	Hustota		Pevnostní parametry							
				E _{mod}		Pevnost		Deformace		Napětí	
		kg/m ³	kg/m ³	MPa	MPa	MPa	MPa	mm	mm	MPa	MPa
SM-V-11	SM-V-11-1	534	534	865	854	3,66	4,02	1,16	1,43	4	4,25
	SM-V-11-2	534		844		4,37		1,70		4,5	
SM-V-12	SM-V-12-1	514	524	949	949	4,10	4,10	1,23	1,23	4	4
SM-V-13	SM-V-13-1	524	517	807	738	4,52	3,78	1,60	1,30	3	3,50
	SM-V-13-2	510		669		3,04		1,00		4	
SM-V-14	SM-V-14-1	514	514	897	897	4,06	4,06	1,01	1,01	4	4
SM-V-15	SM-V-15-1	516	516	617	617	2,80	2,80	0,88	0,88	3	3
SM-V-16	SM-V-16-1	491	491	1007	1007	4,38	4,38	1,01	1,01	4	4
SM-V-17	SM-V-17-1	495	495	874	874	4,36	4,36	0,93	0,93	4	4
SM-V-18	SM-V-18-1	495	495	1082	1082	4,36	4,36	1,12	1,12	4	4
SM-V-19	SM-V-19-1	492	492	737	737	3,02	3,02	0,87	0,87	4	4
SM-V-20	SM-V-20-1	457	457	702	702	3,13	3,13	0,87	0,87	4	4
SM-V-21	SM-V-21-1	497	497	756	756	3,31	3,31	0,95	0,95	4	4

Tab. 28 Pevnost dřeva v tlaku napříč vlákny pro řez SM-Z-1 až SM-Z-10

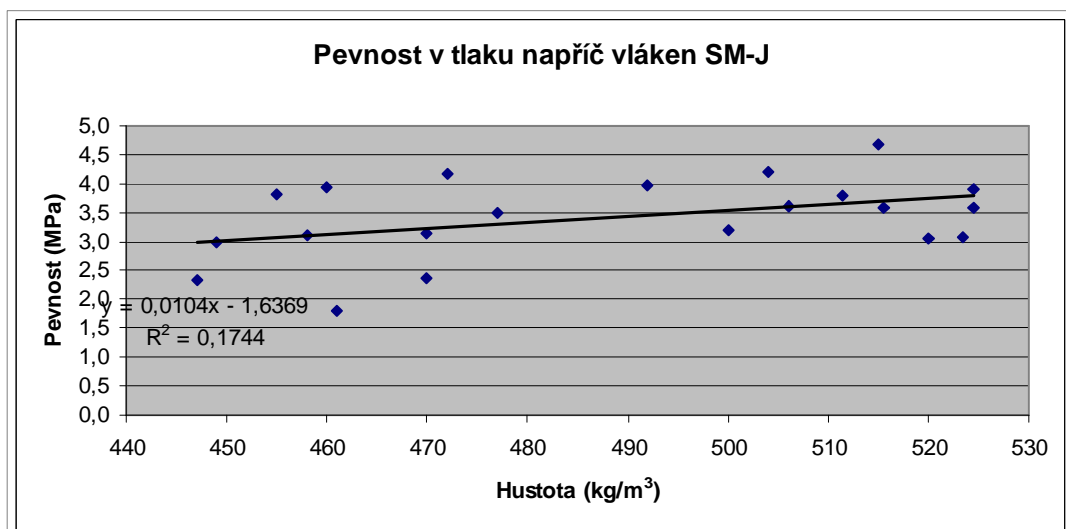
Řez	Vzorek	Hustota		Pevnostní parametry							
				E _{mod}		Pevnost		Deformace		Napětí	
		kg/m ³	kg/m ³	MPa	MPa	MPa	MPa	mm	mm	MPa	MPa
SM-Z-1	SM-Z-1-1	555	534	563	704	3,08	3,41	1,02	0,93	3	3,50
	SM-Z-1-2	512		844		3,74		0,84		4	
SM-Z-2	SM-Z-2-1	512	532	1010	932	4,49	4,25	1,26	1,43	4	4,00
	SM-Z-2-2	552		855		4,00		1,60		4	
SM-Z-3	SM-Z-3-1	512	526	1003	851	4,30	3,85	0,86	0,91	3	3,00
	SM-Z-3-2	539		699		3,39		0,95		3	
SM-Z-4	SM-Z-4-1	489	506	586	741	2,67	3,33	1,16	1,60	3	3,50
	SM-Z-4-2	522		896		3,98		2,03		4	
SM-Z-5	SM-Z-5-1	497	512	900	789	3,85	3,76	1,48	1,30	3	3,50
	SM-Z-5-2	526		678		3,67		1,12		4	
SM-Z-6	SM-Z-6-1	493	518	764	604	3,74	2,86	1,35	1,13	4	4,00
	SM-Z-6-2	542		443		1,98		0,91		4	
SM-Z-7	SM-Z-7-1	495	512	779	549	3,29	1,89	1,26	0,89	3	2,25
	SM-Z-7-2	528		319		0,49		0,52		1,5	
SM-Z-8	SM-Z-8-1	497	514	648	680	2,45	2,99	1,14	1,25	3	3,00
	SM-Z-8-2	530		712		3,52		1,35		3	
SM-Z-9	SM-Z-9-1	491	511	525	611	2,41	3,03	1,00	0,96	2	3,00
	SM-Z-9-2	530		697		3,65		0,92		4	
SM-Z-10	SM-Z-10-1	459	487	557	603	2,61	2,81	0,92	0,90	3	3,50
	SM-Z-10-2	514		650		3,00		0,88		4	

Tab. 28 Pevnost dřeva v tlaku napříč vláken pro řez SM-Z-11 až SM-Z-21

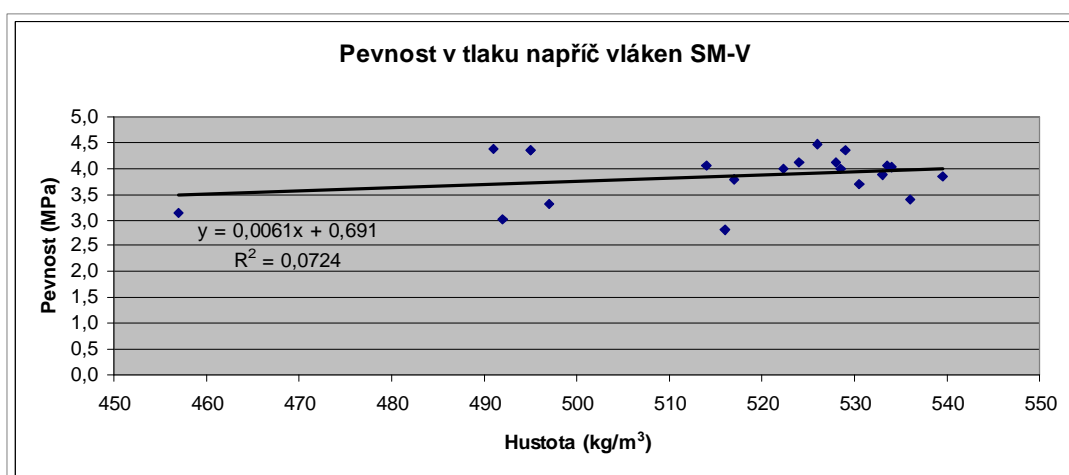
Řez	Vzorek	Hustota		Pevnostní parametry							
				E _{mod}		Pevnost		Deformace		Napětí	
		kg/m ³	kg/m ³	MPa	MPa	MPa	MPa	mm	mm	MPa	MPa
SM-Z-11	SM-Z-11-1	464	486	524	701	2,22	2,98	0,89	0,96	3,5	3,25
	SM-Z-11-2	508		878		3,73		1,03		3	
SM-Z-12	SM-Z-12-1	470	487	539	588	2,76	2,58	1,81	1,32	3	3,50
	SM-Z-12-2	503		636		2,40		0,83		4	
SM-Z-13	SM-Z-13-1	470	486	731	638	2,68	2,57	1,06	0,98	4	4,00
	SM-Z-13-2	502		546		2,45		0,90		4	
SM-Z-14	SM-Z-14-1	461	482	698	641	2,67	3,03	1,02	1,02	4	4
	SM-Z-14-2	502		585		3,39		1,05	1,05	4	4
SM-Z-15	SM-Z-15-1	457	457	706	706	2,94	2,94	0,96	0,96	3	3
SM-Z-16	SM-Z-16-1	450	450	221	221	1,59	1,59	0,67	0,67	2	2
SM-Z-17	SM-Z-17-1	448	448	567	567	2,35	2,35	1,02	1,02	4	4
SM-Z-18	SM-Z-18-1	455	455	638	638	2,95	2,95	0,96	0,96	4	4
SM-Z-19	SM-Z-19-1	448	448	482	482	2,34	2,34	0,81	0,81	3	3
SM-Z-20	SM-Z-20-1	449	449	779	779	3,80	3,80	0,99	0,99	4	4
SM-Z-21	SM-Z-21-1	452	452	575	575	2,59	2,59	0,99	0,99	4	4



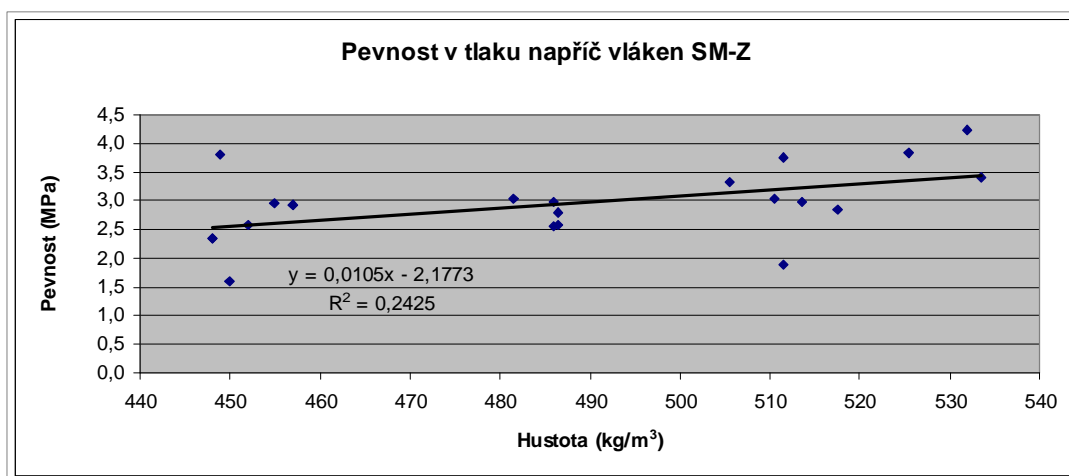
Obr. 41 *Vzájemná závislost hustoty a pevnosti dřeva pro řez SM-S-1 až SM-S-21.*



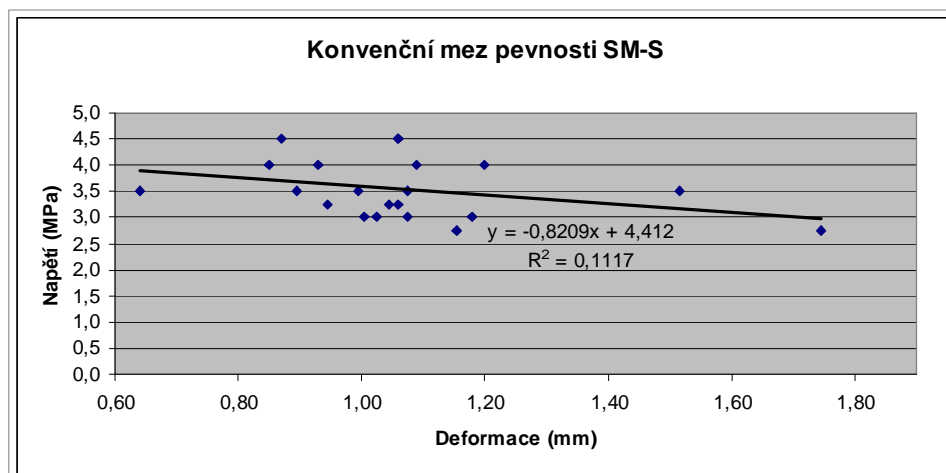
Obr. 42 *Vzájemná závislost hustoty a pevnosti dřeva pro řez SM-J-1 až SM-J-21.*



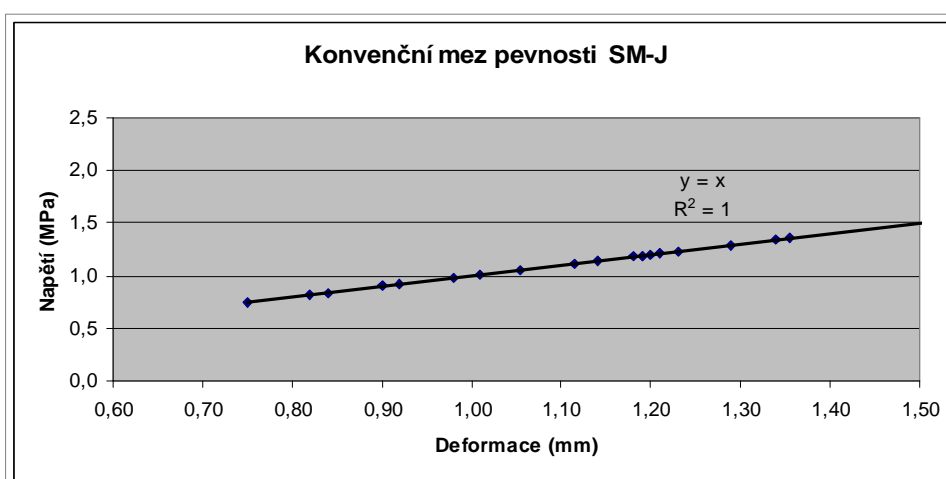
Obr. 43 *Vzájemná závislost hustoty a pevnosti dřeva pro řez SM-V-1 až SM-V-21.*



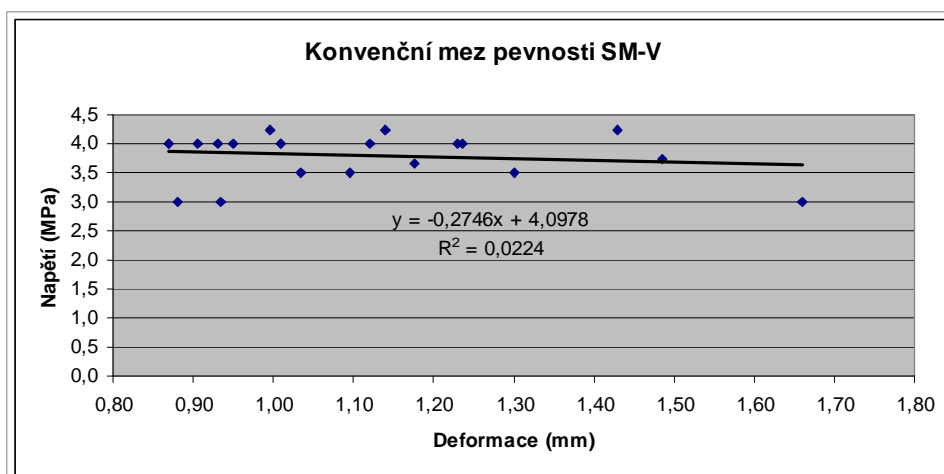
Obr. 44 *Vzájemná závislost hustoty a pevnosti dřeva pro řez SM-Z-1 až SM-Z-21.*



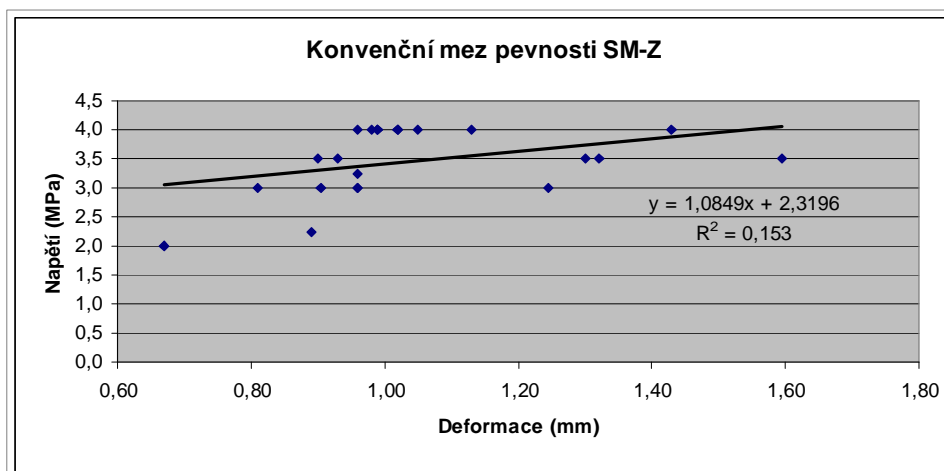
Obr. 45 *Graf vyjadřující konvenční mez pevnosti pro řez SM-S-1 až SM-S-21.*



Obr. 46 *Graf vyjadřující konvenční mez pevnosti pro řez SM-J-1 až SM-J-21.*



Obr. 47 Graf vyjadřující konvenční mez pevnosti pro řez SM-V-1 až SM-V-21.

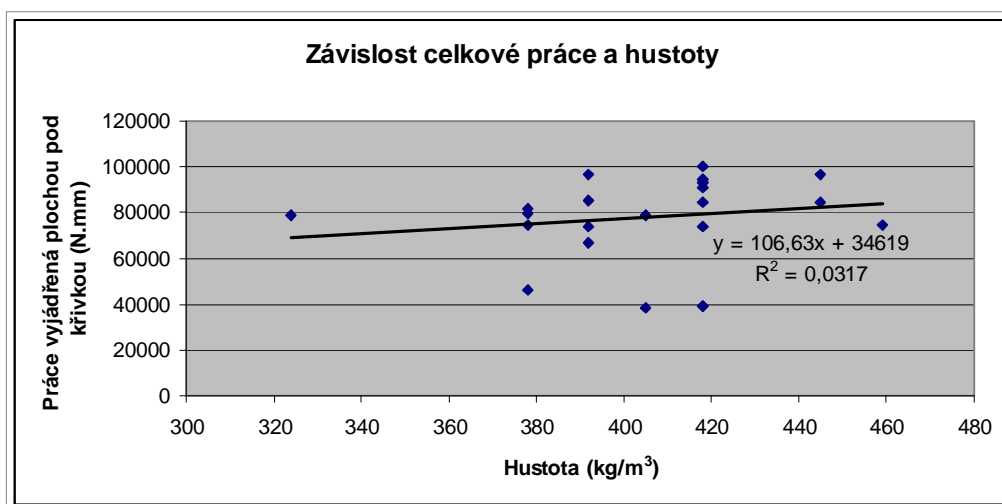


Obr. 48 Graf vyjadřující konvenční mez pevnosti pro řez SM-Z-1 až SM-Z-21.

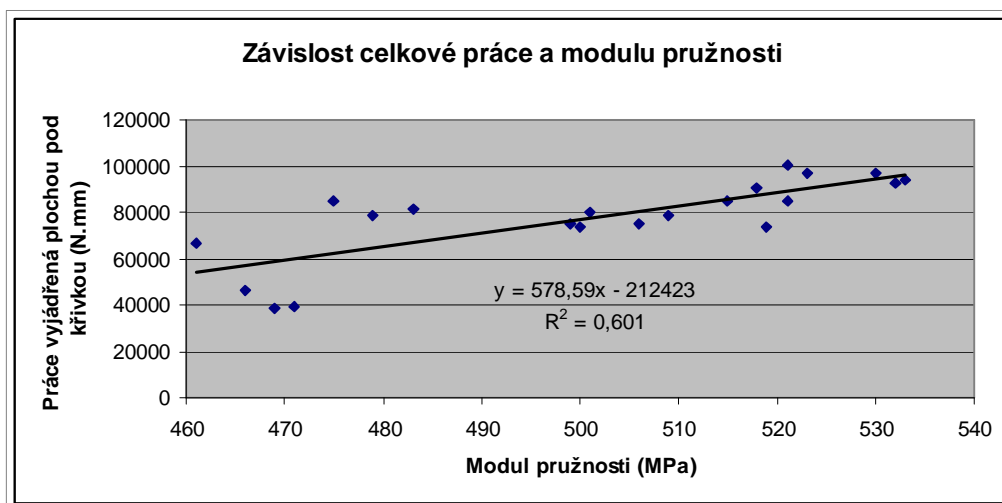
E) Výsledky vyhodnocení měření

Tab. 29 Vyhodnocení měření pro řez SM-S-1 až SM-S-21

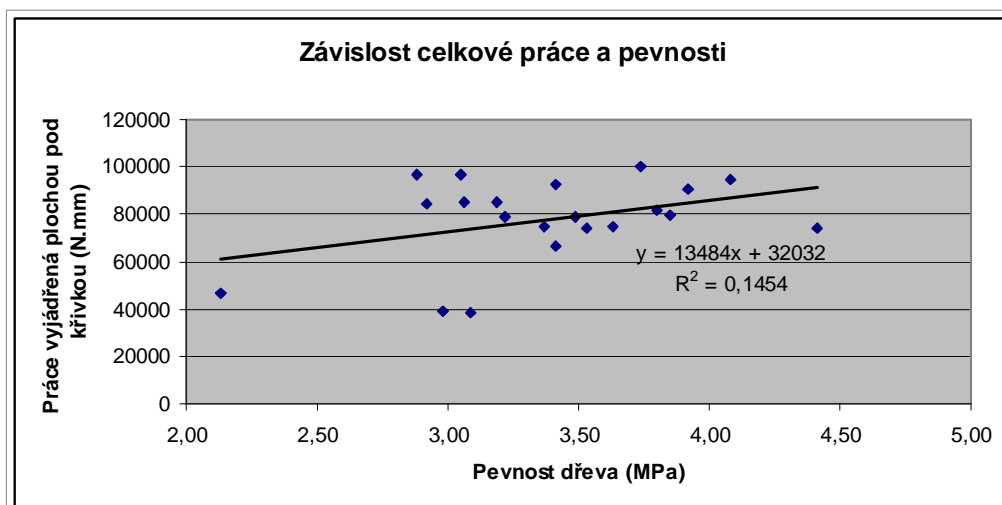
Označení vzorku	Plocha pod křivkou	Hustota	E_{mod}	Pevnost
	N.mm	kg/m ³	MPa	MPa
SM-S-1	84793,47	445	475	3,19
SM-S-2	73964,11	418	519	3,53
SM-S-3	90720,64	418	518	3,92
SM-S-4	100031,44	418	521	3,74
SM-S-5	96907,67	445	530	3,05
SM-S-6	96542,72	392	523	2,88
SM-S-7	92791,19	418	532	3,41
SM-S-8	84655,58	418	521	2,92
SM-S-9	94374,83	418	533	4,08
SM-S-10	85028,69	392	515	3,06
SM-S-11	74893,28	459	506	3,63
SM-S-12	78660,42	405	509	3,22
SM-S-13	73801,86	392	500	4,41
SM-S-14	81476,33	378	483	3,80
SM-S-15	79765,86	378	501	3,85
SM-S-16	66613,14	392	461	3,41
SM-S-17	78627,17	324	479	3,49
SM-S-18	74771,17	378	499	3,37
SM-S-19	46339,19	378	466	2,13
SM-S-20	38451,11	405	469	3,09
SM-S-21	38994,56	418	471	2,98



Obr. 49 Závislost celkové práce vyjádřené jako plocha pod křivkou na hustotě pro řez SM-S-1 až SM-S-21



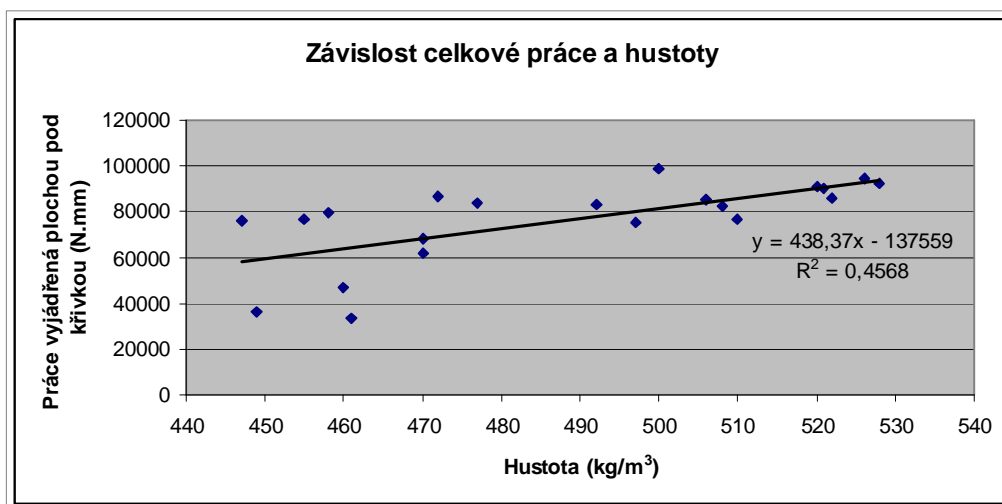
Obr. 50 Závislost celkové práce vyjádřené jako plocha pod křivkou na modulu pružnosti pro řez SM-S-1 až SM-S-21



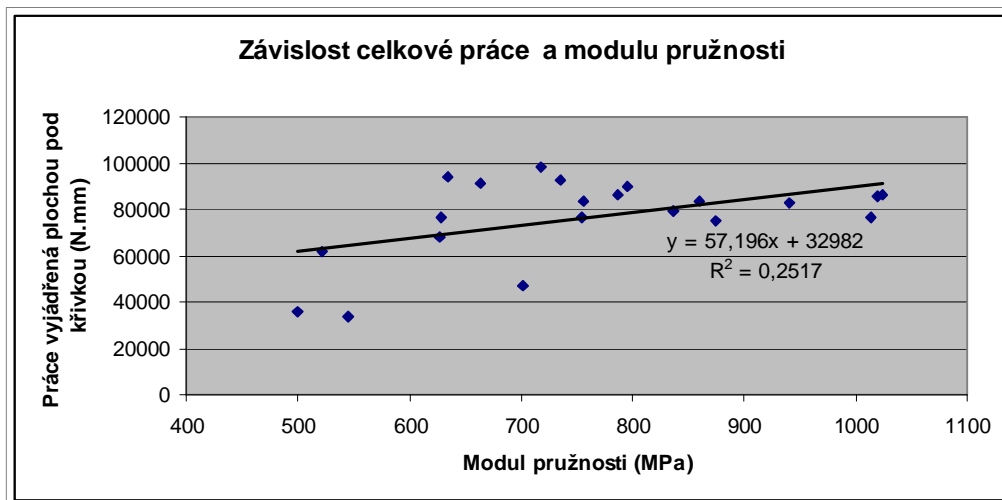
Obr. 51 Závislost celkové práce vyjádřené jako plocha pod křivkou na pevnosti pro řez SM-S-1 až SM-S-21

Tab. 30 Vyhodnocení měření pro řez SM-J-1 až SM-J-21

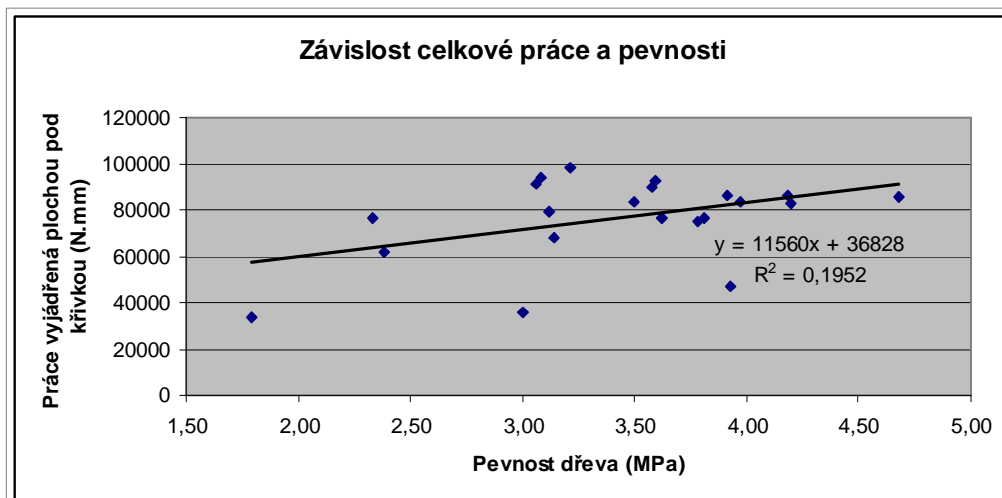
Označení vzorku	Plocha pod křivkou	Hustota	E_{mod}	Pevnost
	N.mm	kg/m ³	MPa	MPa
SM-J-1	85444,50	506	1020	4,68
SM-J-2	86017,86	522	786	3,91
SM-J-3	94324,67	526	634	3,08
SM-J-4	92355,72	528	736	3,59
SM-J-5	91129,53	520	664	3,06
SM-J-6	90087,61	521	796	3,58
SM-J-7	82574,89	508	940	4,20
SM-J-8	76676,58	510	755	3,62
SM-J-9	75051,06	497	874	3,78
SM-J-10	98572,50	500	718	3,21
SM-J-11	83744,28	477	756	3,50
SM-J-12	83300,19	492	860	3,97
SM-J-13	86486,28	472	1024	4,18
SM-J-14	76346,14	455	1013	3,81
SM-J-15	79234,56	458	837	3,12
SM-J-16	76288,19	447	629	2,33
SM-J-17	61841,39	470	522	2,38
SM-J-18	68140,25	470	627	3,14
SM-J-19	33466,89	461	545	1,79
SM-J-20	36012,44	449	499	3,00
SM-J-21	46999,67	460	701	3,93



Obr. 52 Závislost celkové práce vyjádřené jako plocha pod křivkou na hustotě pro řez SM-J-1 až SM-J-21



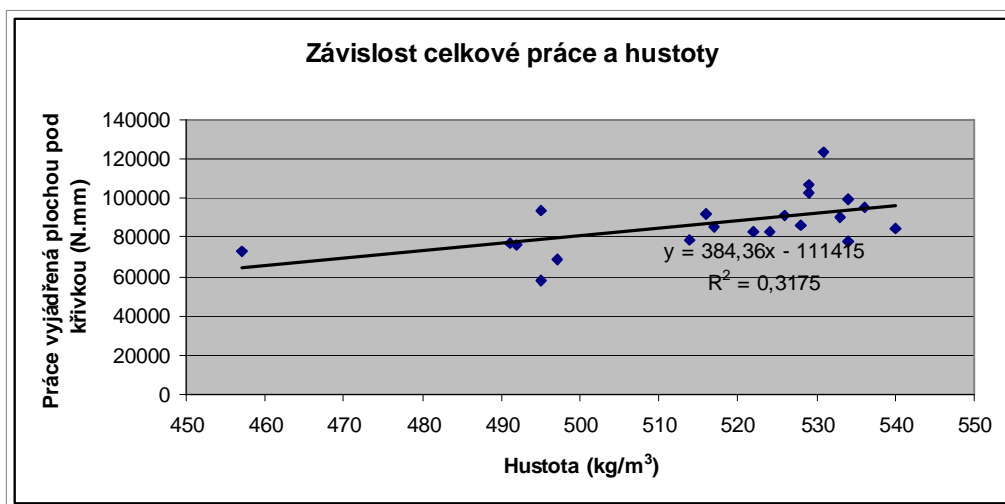
Obr. 53 Závislost celkové práce vyjádřené jako plocha pod křivkou na modulu pružnosti pro řez SM-J-1 až SM-J-21



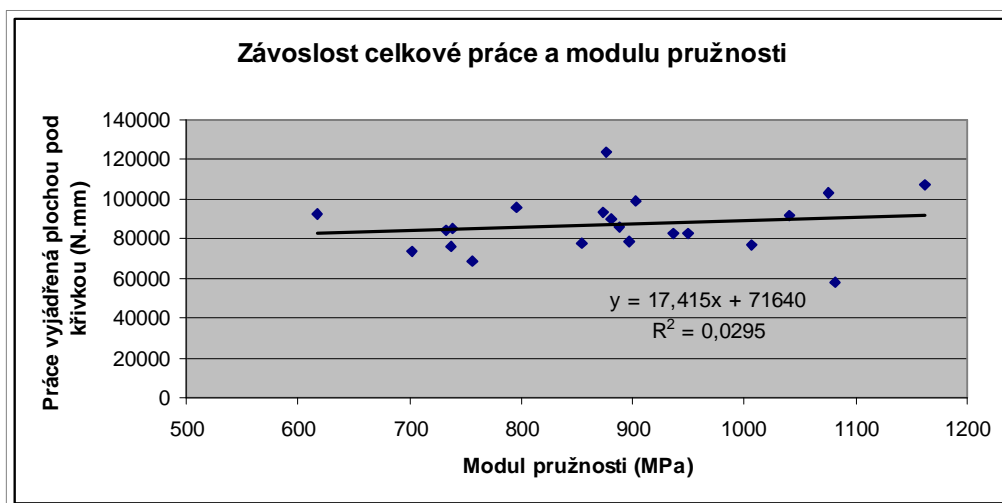
Obr. 54 Závislost celkové práce vyjádřené jako plocha pod křivkou na pevnosti pro řez SM-J-1 až SM-J-21

Tab. 31 Vyhodnocení měření pro řez SM-V-1 až SM-V-21

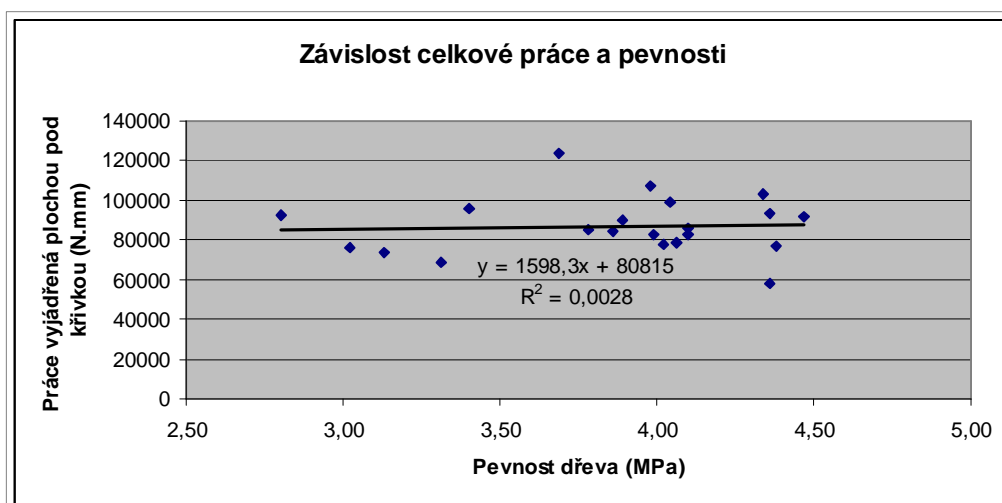
Označení vzorku	Plocha pod křivkou	Hustota	E_{mod}	Pevnost
	N.mm	kg/m ³	MPa	MPa
SM-V-1	82448,11	522	936	3,99
SM-V-2	91508,86	526	1041	4,47
SM-V-3	90257,97	533	881	3,89
SM-V-4	123395,58	531	876	3,69
SM-V-5	102921,14	529	1076	4,34
SM-V-6	95645,00	536	796	3,40
SM-V-7	99305,44	534	903	4,04
SM-V-8	107238,44	529	1162	3,98
SM-V-9	84548,11	540	733	3,86
SM-V-10	85899,72	528	888	4,10
SM-V-11	77694,61	534	854	4,02
SM-V-12	82737,64	524	949	4,10
SM-V-13	85210,97	517	738	3,78
SM-V-14	78820,64	514	897	4,06
SM-V-15	92319,44	516	617	2,80
SM-V-16	76962,86	491	1007	4,38
SM-V-17	93204,39	495	874	4,36
SM-V-18	58380,78	495	1082	4,36
SM-V-19	76009,58	492	737	3,02
SM-V-20	73288,22	457	702	3,13
SM-V-21	68901,97	497	756	3,31



Obr. 55 Závislost celkové práce vyjádřené jako plocha pod křivkou na hustotě pro řez SM-V-1 až SM-V-21



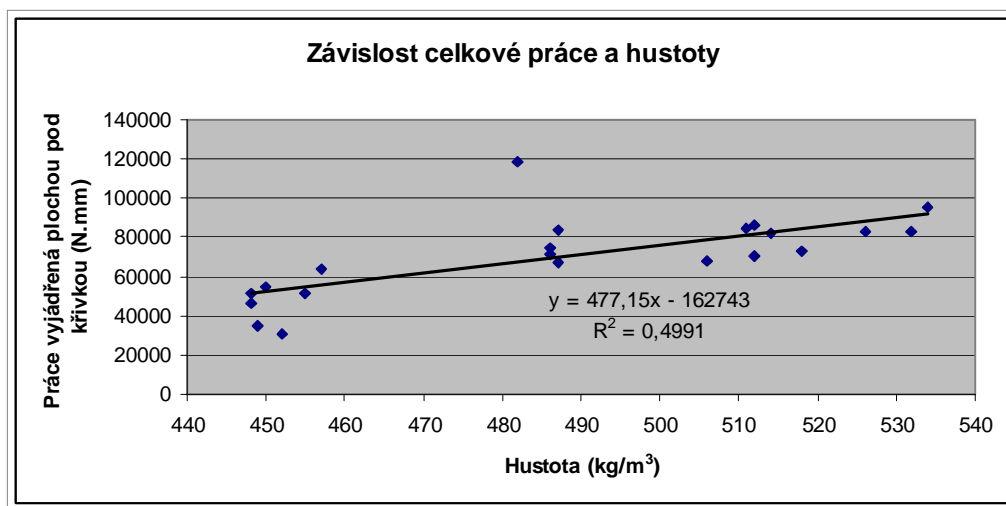
Obr. 56 Závislost celkové práce vyjádřené jako plocha pod křivkou na modulu pružnosti pro řez SM-V-1 až SM-V-21



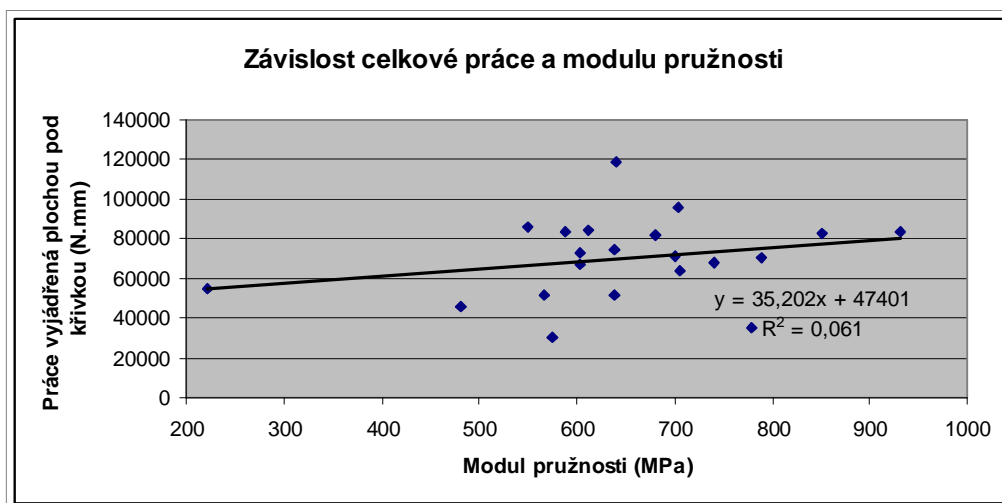
Obr. 57 Závislost celkové práce vyjádřené jako plocha pod křivkou na pevnosti pro řez SM-V-1 až SM-V-21

Tab. 32 Vyhodnocení měření pro řez SM-Z-1 až SM-Z-21

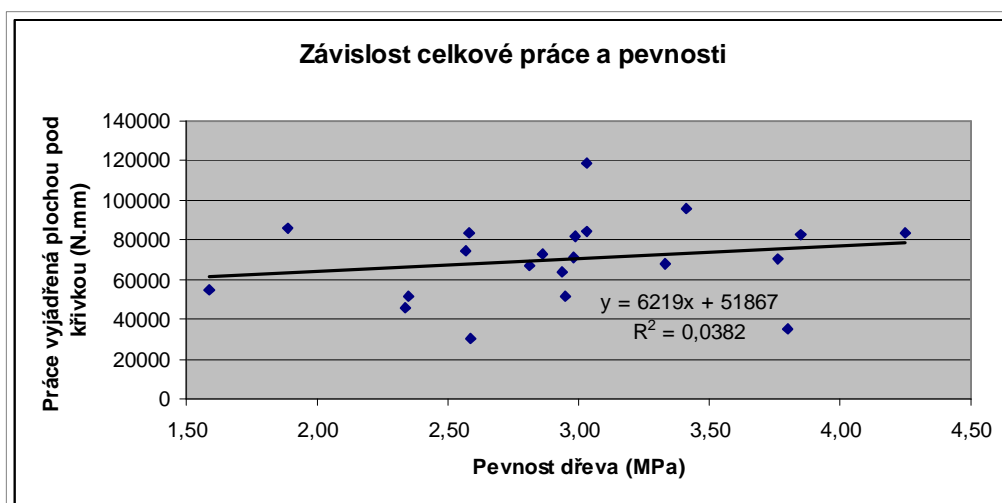
Označení vzorku	Plocha pod křivkou	Hustota	E_{mod}	Pevnost
	N.mm	kg/m ³	MPa	MPa
SM-Z-1	95616,19	534	704	3,41
SM-Z-2	83126,61	532	932	4,25
SM-Z-3	83030,92	526	851	3,85
SM-Z-4	68119,69	506	741	3,33
SM-Z-5	70309,03	512	789	3,76
SM-Z-6	72888,39	518	604	2,86
SM-Z-7	86207,47	512	549	1,89
SM-Z-8	81980,75	514	680	2,99
SM-Z-9	84424,06	511	611	3,03
SM-Z-10	67322,92	487	603	2,81
SM-Z-11	70990,06	486	701	2,98
SM-Z-12	83647,08	487	588	2,58
SM-Z-13	74814,47	486	638	2,57
SM-Z-14	118416,22	482	641	3,03
SM-Z-15	63954,00	457	706	2,94
SM-Z-16	55073,53	450	221	1,59
SM-Z-17	51433,11	448	567	2,35
SM-Z-18	51330,03	455	638	2,95
SM-Z-19	46030,31	448	482	2,34
SM-Z-20	34898,86	449	779	3,80
SM-Z-21	30553,78	452	575	2,59



Obr. 58 Závislost celkové práce vyjádřené jako plocha pod křivkou na hustotě pro řez SM-Z-1 až SM-Z-21



Obr. 59 Závislost celkové práce vyjádřené jako plocha pod křivkou na modulu pružnosti pro řez SM-Z-1 až SM-Z-21



Obr. 60 Závislost celkové práce vyjádřené jako plocha pod křivkou na pevnosti pro řez SM-Z-1 až SM-Z-21

Tab. 33 Třídy pevnosti – charakteristické hodnoty pro konstrukční dřevo dle EN 338

		JEHLIČNATÉ DŘEVINY											
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
PEVNOSTNÍ VLASTNOSTI (v N/mm²)													
Ohyb	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Tah rovnoběžně s vlákny	$f_{t,0,k} = 0,6 f_{m,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
Tak kolmo k vláknům	$f_{t,90,k} = 0,4$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Tlak rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k} = 5 (f_{m,k}) 0,45$	16	17	18	19	20	21	23	23	25	26	28	29
Tlak kolmo na vláknům	$f_{c,90,k} = 0,007 \rho_k$	2	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,7	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
Smyk	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
TUHOSTNÍ VLASTNOSTI (v KN/mm²)													
Průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
5% kvantil modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,05} = 0,67 E_{0,mean}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,1	10,7
Průměrná hodnota modulu pružnosti kolmo k vláknům	$E_{90,mean} = E_{0,mean} / 30$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
Průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku	$G_{mean} = E_{0,mean} / 16$	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
HUSTOTA (v kg/m³)													
Hustota	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
Průměrná hodnota hustoty	$\rho_{mean} = 1,2 \rho_k$	350	370	380	400	410	420	440	460	480	500	530	550

Příloha č. 3

A) Fotodokumentace



Obr. 1 Celkový pohled na krov od severu



Obr. 2 Napojení hambalku, vaznice a středového sloupku poškozené činností tesaříka krovového



Obr. 3 *Detail poškození vazby činností tesaříka krovového*



Obr. 4 *Detail spoje pásku a rozpěry ležaté stolice zajištěný kolíky*



Obr. 5 Detail vazného trámu a jeho kotvení ke štítové zdi



Obr. 6 Komínové těleso s náběhy



Obr. 7 *Komínové těleso po částečné rekonstrukci a výměna krokví*



Obr. 8 *JV část krovu využívaná jako holubník*



Obr. 9 Část krovu poškozená následky požáru; nátěr vápnem



Obr. 10 Měření vlhkosti zapichovacím vlhkoměrem na středovém sloupku

